

BEST AVAILABLE COPY

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 2 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 1 2 5 2 6
Application Number:
ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 1 2 5 2 6]

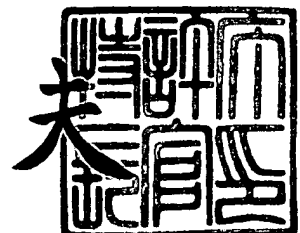
願 人 株式会社東芝
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 3 年 1 1 月 1 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫





1/lew

PATENT
Customer No. 22,852
Attorney Docket No. 3180.0350

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
)
HIROKO NAKAMURA ET AL.)
)
Application No.: 10/760,522) Group Art Unit: 2123
)
Filed: January 21, 2004) Examiner: Unknown
)
For: COMPUTER IMPLEMENTED)
METHOD FOR DEVELOPMENT)
PROFILE SIMULATION,)
COMPUTER PROGRAM)
PRODUCT FOR CONTROLLING A)
COMPUTER SYSTEM SO AS TO)
SIMULATE DEVELOPMENT)
PROFILE, AND COMPUTER)
IMPLEMENTED METHOD FOR)
MASK PATTERN DATA)
CORRECTION)

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

CLAIM FOR PRIORITY

Sir:

Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., Applicants hereby claim the benefit of the filing date of Japanese Patent Application Number 2003-012526, filed January 21, 2004, for the above identified United States patent application.

In support of Applicants' claim for priority, a certified copy of the priority application is filed herewith.

Respectfully submitted,

FINNEGAN, HENDERSON, FARABOW,
GARRETT & DUNNER, L.L.P.

Dated: _____

8/12/04

By: _____

Richard V. Burgulian
Reg. No. 31,744

【書類名】 特許願

【整理番号】 APB022018

【提出日】 平成15年 1月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 形状シミュレーション方法、形状シミュレーションプログラム及びマスクパターン作成方法

【請求項の数】 16

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 中村 裕子

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 三本木 省次

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 大西 廉伸

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 形状シミュレーション方法、形状シミュレーションプログラム
及びマスクパターン作成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記感光性膜の露光量、前記感光性膜の膜厚方向の位置、及び前記感光性膜を
現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて変化する、前記空間平
均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階

とを具備することを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項 2】 感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を、前記感光性膜を
現像する現像液のアルカリ濃度に対する前記溶解速度の対数の変化率、又は前記
アルカリ濃度の対数に対する前記溶解速度の対数の変化率から計算する段階と、

前記空間平均量及び前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率
を用いて前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階

とを具備することを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項 3】 感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域に
ついて空間平均を計算することによって、前記光学像強度又は感光反応生成物濃
度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する段階と、
前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階
とを具備することを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項 4】 感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する段階と、

前記着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記所定位置における前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記所定位置における前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度及び前記着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から前記着目位置における前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階

とを具備することを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項 5】 前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率は、前記アルカリ濃度に対する前記溶解速度の対数から計算することを特徴とする請求項 1 又は 3 又は 4 少なくとも何れか 1 項記載の形状シミュレーション方法。

【請求項 6】 前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率は、前記アルカリ濃度の対数に対する前記溶解速度の対数から計算することを特徴とする請求項 1 又は 3 又は 4 何れか 1 項記載の形状シミュレーション方法。

【請求項 7】 前記空間平均量は、光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域について空間平均を計算したものをを用いて計算されることを特徴とする請求項 1 又は 2 又は 4 少なくとも何れか 1 項記載の形状シミュレーション方法。

【請求項 8】 前記空間平均量を計算する前記感光性膜上の所定位置は、前記パターンを計算する着目位置と異なり、前記所定位置は、現像時間に応じて移動させることを特徴とする請求項 1 乃至 3 少なくとも何れか 1 項記載の形状シミュレーション方法。

【請求項 9】 コンピュータに、

感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、
前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、
前記感光性膜の露光量、前記感光性膜の膜厚方向の位置、及び前記感光性膜を
現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて変化する、前記空間平
均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、
前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する手順と、
前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する手順
とを実行させることを特徴とする形状シミュレーションプログラム。

【請求項 10】 コンピュータに、

感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、
前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、
前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を、前記感光性膜を
現像する現像液のアルカリ濃度に対する前記溶解速度の対数の変化率、又は前記
アルカリ濃度の対数に対する前記溶解速度の対数の変化率から計算する手順と、
前記空間平均量及び前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率
を用いて前記溶解速度を計算する手順と、
前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する手順
とを実行させることを特徴とする形状シミュレーションプログラム。

【請求項 11】 コンピュータに、

感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、
前記光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域に
ついて空間平均を計算することによって、前記光学像強度又は感光反応生成物濃
度の空間平均量を計算する手順と、
前記空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、
前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する手順と、
前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する手順
とを実行させることを特徴とする形状シミュレーションプログラム。

【請求項 12】 コンピュータに、

感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する手順と、

前記着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、

前記所定位置における前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、

前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記所定位置における前記溶解速度を計算する手順と、

前記溶解速度及び前記着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から前記着目位置における前記感光性膜のパターンの形状を計算する手順

とを実行させることを特徴とする形状シミュレーションプログラム。

【請求項 1 3】 感光性膜の露光量、前記感光性膜の膜厚方向の位置、及び前記感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて変化する、空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、

マスクパターンから前記感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の前記空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、

前記計算された感光性膜のパターンと前記基準の感光性膜のパターンとを比較することで、前記マスクパターンの最適化を行う段階

とを具備することを特徴とするマスクパターン作成方法。

【請求項 1 4】 空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を、前記感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度に対する前記溶解速度の対数の変化率、又は前記アルカリ濃度の対数に対する前記溶解速度の対数の変化率から計算する段階と、

基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、

マスクパターンから前記感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量及び前記空間平均量に対する前記感光性膜の溶解速度の変化率を用いて前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、

前記計算された感光性膜のパターンと前記基準の感光性膜のパターンとを比較することで、前記マスクパターンの最適化を行う段階

とを具備することを特徴とするマスクパターン作成方法。

【請求項 15】 空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、

マスクパターンから前記感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域について空間平均を計算することによって、前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度から前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、

前記計算された感光性膜のパターンと前記基準の感光性膜のパターンとを比較することで、前記マスクパターンの最適化を行う段階

とを具備することを特徴とするマスクパターン作成方法。

【請求項 16】 空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、

基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、

マスクパターンから、前記感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する段階と、

前記着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、

前記所定位置における前記光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、

前記空間平均量及び前記変化率を用いて前記所定位置における前記溶解速度を計算する段階と、

前記溶解速度及び前記着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から前記着目位置における前記感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、

前記計算された感光性膜のパターンと前記基準の感光性膜のパターンとを比較することで、前記マスクパターンの最適化を行う段階

とを具備することを特徴とするマスクパターン作成方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、形状シミュレーション方法、形状シミュレーションプログラム及びマスクパターン作成方法に関し、特に、感光性樹脂を露光し、現像することにより得られる感光性膜パターンの形状を予測する形状シミュレーション方法及びそのシミュレーションを実行する為のコンピュータプログラム及び予測されるパターンの形状を利用したマスクパターン作成方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

通常、半導体素子などの一連の製造工程には、基板上に微細なパターンを形成する為のリソグラフィ工程が含まれる。このリソグラフィ工程においては、所望のパターンを得るために、露光装置の照明条件、レジストプロセス条件などの種々のパラメータが存在する。例えば、露光装置の照明条件であれば、開口絞り、コヒーレンスファクター、光源形状、瞳フィルタなどが存在し、レジストプロセス条件であれば、レジストや反射防止膜の種類や膜厚、P E B 温度、P E B 時間、現像時間などが存在する。また、リソグラフィ工程における種々のパラメータには、所望のパターン寸法を得るためのマスク寸法、マスクの種類等レチクルの条件も含まれる。

【0 0 0 3】

近年、半導体素子の微細化が進み、狭マージンのもと、上記パラメータを最適化しなければ、所望のパターンが所望の焦点深度をもって得られなくなっている。しかし、リソグラフィ工程のパラメータを実験的に最適化しようとする、膨大な労力、時間、費用を必要とする。そこで、コンピュータを用いて、現像後の感光性膜（レジスト）の形状をシミュレーションすることにより、労力、時間、費用の削減が試みられている。形状シミュレーションモデルとしては、ストリングモデル、レイ・トレーシングモデル、或いはセル・モデルなどの種々のモデルが提案されている。これらの形状シミュレーションモデルにおいて、現像液がレジストを溶解する速度（以後、「溶解速度」という）は、露光量、レジストの感光特性、及びプロセス条件にのみ依存するか、又はこれらに加えて、溶解部でのレジスト形状にのみ依存するとしている。

【0004】

しかし、実際の現像におけるレジストの溶解速度は、現像途中に変動するアルカリ濃度の影響を受け、変調してしまう。つまり、レジストは、レジスト中の酸性ユニットと現像液中のアルカリ成分との中和反応により現像されるため、現像液中のアルカリ濃度は中和反応の進行により変動する。このため、上記の形状シミュレーションモデルが、レジスト形状、寸法を正確に予測しているとはいえない。

【0005】

従来、アルカリ濃度の変動を考慮に入れた形状シミュレーションモデルも提案されている（例えば、特許文献1参照）。特許文献1では、アルカリの濃度変動が着目しているパターン周囲の溶解量に比例することを利用して、溶解速度を潜像強度または感光剤濃度の空間平均量に応じて変調させている。また、溶解速度の変化率は、着目しているパターン周囲の溶解量すなわちアルカリ濃度変動量に比例しているとしている。

【0006】

【特許文献1】

特開平10-64792号公報（[0022] - [0023] 段落）

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、実験により溶解速度を求めてみると、溶解速度の変化率は、必ずしもアルカリ濃度の変動量に対して比例しない。このために、形状シミュレーションのパラメータを最適化する時に計算が収束しなかったり、或いはパラメータを最適化できても、シミュレーションにより求めた寸法予測値と実験により求めた寸法実測値が合わない場合がある。

【0008】

また、現像液を供給する時、現像液は流速を持つ方向に流れていく。現像液を供給するノズルをウエハの一端から他端へ走査するスキャン現像においては、現像液を供給してパドルを形成した後も、現像途中に現像液の流れが生じ得る (J. Photopolymer Sci. and Technol. 14, 435 (2001))。現像液のアルカリ濃度はレジストの溶解により低下するので、パターンの密度によっても現像液の濃度は変動してしまい、予測される寸法と実際の寸法が異なる場合が生じる。このような現像液の流れに起因する寸法誤差も従来、予測することができなかった。

【0009】

本発明はこのような従来技術の問題点を解決するために成されたものであり、その目的は、実際の現像挙動を反映した形状予測及び寸法予測を精度よく行うことができる形状シミュレーション方法、形状シミュレーションプログラム及びマスクパターン作成方法を提供することである。

【0010】**【課題を解決するための手段】**

上記目的を達成するため、本発明の第1の特徴は、感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、感光性膜の露光量、感光性膜の膜厚方向の位置、及び感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて変化する、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階とを具備する形状シミュレーション方法であることを要旨とする。

【0011】

本発明の第2の特徴は、感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を、感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度に対する溶解速度の対数の変化率、又はアルカリ濃度の対数に対する溶解速度の対数の変化率から計算する段階と、空間平均量及び空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階とを具備する形状シミュレーション方法であることを要旨とする。

【0012】

本発明の第3の特徴は、感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域について空間平均を計算することによって、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階とを具備する形状シミュレーション方法であることを要旨とする。

【0013】

本発明の第4の特徴は、感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する段階と、着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、空間平均量及び変化率を用いて所定位置における溶解速度を計算する段階と、溶解速度及び着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から着目位置における感光性膜のパターンの形状を計算する段階とを具備する形状シミュレーション方法であることを要旨とする。

【0014】

本発明の第5の特徴は、コンピュータに、感光性膜の光学像強度又は感光反応

生成物濃度を計算する手順と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、感光性膜の露光量、感光性膜の膜厚方向の位置、及び感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて変化する、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する手順と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する手順とを実行させる形状シミュレーションプログラムであることを要旨とする。

【0015】

本発明の第6の特徴は、コンピュータに、感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を、感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度に対する溶解速度の対数の変化率、又はアルカリ濃度の対数に対する溶解速度の対数の変化率から計算する手順と、空間平均量及び空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を用いて溶解速度を計算する手順と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する手順とを実行させる形状シミュレーションプログラムであることを要旨とする。

【0016】

本発明の第7の特徴は、コンピュータに、感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域について空間平均を計算することによって、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する手順と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する手順と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する手順とを実行させる形状シミュレーションプログラムであることを要旨とする。

【0017】

本発明の第8の特徴は、コンピュータに、感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する手順と、着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する手順と、所定位置における光学像強度又は感光反応生成

物濃度の空間平均量を計算する手順と、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む手順と、空間平均量及び変化率を用いて所定位置における溶解速度を計算する手順と、溶解速度及び着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から着目位置における感光性膜のパターンの形状を計算する手順とを実行させる形状シミュレーションプログラムであることを要旨とする。

【0018】

本発明の第9の特徴は、感光性膜の露光量、感光性膜の膜厚方向の位置、及び感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて変化する、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、マスクパターンから感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、計算された感光性膜のパターンと基準の感光性膜のパターンとを比較することで、マスクパターンの最適化を行う段階とを具備するマスクパターン作成方法であることを要旨とする。

【0019】

本発明の第10の特徴は、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を、感光性膜を現像する現像液のアルカリ濃度に対する溶解速度の対数の変化率、又はアルカリ濃度の対数に対する溶解速度の対数の変化率から計算する段階と、基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、マスクパターンから感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量及び空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、計算された感光性膜のパターンと基準の感光性膜のパターンとを比較することで、マスクパターンの最適化を行う段階とを具備するマスクパターン作成方法であることを要旨とする。

【0020】

本発明の第11の特徴は、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、マスクパターンから感光性膜の光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、光学像強度又は感光反応生成物濃度が一定値以上又は一定値以下の領域について空間平均を計算することによって、光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、計算された感光性膜のパターンと基準の感光性膜のパターンとを比較することで、マスクパターンの最適化を行う段階とを具備するマスクパターン作成方法であることを要旨とする。

【0021】

本発明の第12の特徴は、空間平均量に対する感光性膜の溶解速度の変化率を読み込む段階と、基準の感光性膜パターン及びマスクパターンを用意する段階と、マスクパターンから、感光性膜のパターン形状の計算を行う着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度を計算する段階と、着目位置とは異なる、現像時間に応じて変化する所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度を計算する段階と、所定位置における光学像強度又は感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する段階と、空間平均量及び変化率を用いて所定位置における溶解速度を計算する段階と、溶解速度及び着目位置における光学像強度又は感光反応物濃度から着目位置における感光性膜のパターンの形状を計算する段階と、計算された感光性膜のパターンと基準の感光性膜のパターンとを比較することで、マスクパターンの最適化を行う段階とを具備するマスクパターン作成方法であることを要旨とする。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。図面の記載において同一あるいは類似の部分には同一あるいは類似な符号を付している。

【0023】

(現像モデル)

本発明の実施の形態を説明する前に、レジストの現像工程における現像モデルについて述べる。レジストの現像は、レジスト中の酸性ユニットと現像液中のアルカリ成分との中和反応である。現像工程において、レジストと現像液との中和反応が進行し、レジストが溶解されると同時に現像液のアルカリ濃度が低下していく。ポジ型レジストであれば露光量の高い領域、ネガ型レジストであれば露光量の低い領域での溶解速度は、非常に速く、 $1000\text{ nm/sec} \sim 10000\text{ nm/sec}$ である。したがって、この領域のレジストは、現像の初期段階で溶解する。

【0024】

現像の初期段階の後に、パターンエッジ部分の低露光領域が溶解される。現像の初期段階においてレジストの一部が既に溶解されているため、低アルカリ濃度の現像液がパターンエッジ部分の低露光領域を溶解することになり、最終的な仕上がり寸法が定まると考えられる。

【0025】

現像液のアルカリ濃度と溶解速度との関係は、多くの場合、比例関係ではなく、アルカリ濃度が高くなると溶解速度は指数関数的に増加する。したがって、アルカリ濃度と溶解速度との関係は、(1)式或いは(2)式により近似的に表すことが適当である。

【0026】

$$\partial \{\log R(c)\} / \partial c = \text{const.} \quad \dots (1)$$

$$\partial \{\log R(c)\} / \partial (\log c) = \text{const.} \quad \dots (2)$$

なお、「c」は現像液のアルカリ濃度を示し、「R(c)」はレジストの溶解速度を示す。ここでは、現像液のアルカリ濃度に対する感光性膜の溶解速度の変化率の一例として、(3)式に示すような現像液のアルカリ濃度に対する感光性膜の溶解速度R(c)の対数の変化率gを用いる。この場合、供給される現像液の初期のアルカリ濃度を c_0 とすると、初期の溶解速度R(c_0)は(4)式に示すようになる。

【0027】

$$\partial \{\log R(c)\} / \partial c = g \quad \dots (3)$$

$$\log R(c) = g(c-c_0) + \log R(c_0) \quad \dots (4)$$

中和反応するレジストの酸性ユニット量は、パターン周囲の溶解量に比例する。アルカリ濃度の変化量は、初期のアルカリ濃度 c_0 から中和反応により消費されたアルカリ成分を引いた値となる。レジスト上の所定位置 (x, y) において、パターン周囲の溶解量つまり中和反応により消費されたアルカリ成分は、光学像強度の空間平均量 $G(x, y)$ として (5) 式により記述される。なお、空間平均量 $G(x, y)$ は、光学像強度 $I(x, y)$ を用いて (6) 式により表される。

【0028】

$$c = c_0 - \alpha' G(x, y) \quad \dots (5)$$

$$G(x, y) = \iint dx' dy' I(x', y') \exp \left[\frac{-(x-x')^2 + (y-y')^2}{k^2} \right] \quad \dots (6)$$

なお、 α' は、定数である。所定位置 (x, y) における溶解速度 $R(x, y)$ と空間平均量 $G(x, y)$ との関係は、(4) 式及び (5) 式を用いて、(7) 式により表される。なお、(7) 式において、 $\alpha = -\alpha'$ である。

【0029】

$$\log R(x, y) = g \alpha G(x, y) + \log R(c_0) \quad \dots (7)$$

$g \alpha$ が光学像強度の空間平均量に対する溶解速度の変化率である。

【0030】

ここでは、 $G(x, y)$ を求めるのに光学像強度 $I(x, y)$ を用いたが、露光・ポストエクスポージャーバークにより反応した感光反応物の濃度 $M(x, y)$ を $I(x, y)$ の代わりに用いても良い。

【0031】

(現像液のアルカリ濃度に対する溶解速度の変化率 g の求め方)

(3) 式に示した変化率 g の値は実験的に求めることができる。例えば、供給する現像液のアルカリ濃度を変化させて、アルカリ濃度に応じた溶解速度を Dissolution Rate Monitor (DRM) 等により測定することができる。図1は、横軸をアルカリ濃度 c とし、縦軸を溶解速度 $R(x, y)$ の対数としたグラフに、DRMにより測定した結果をプロットしたグラフである。複数の測定点 21a ~ 2

1 c から近似曲線 2 2 を描くことで、変化率 g (Gradient) を求めることができる。

【0032】

DRMにより測定した変化率 g の挙動は、レジストのタイプにより異なる。現像液のアルカリ濃度、露光量及びレジストの膜厚方向の位置によってほとんど変化率 g が変化しないレジストがある。このレジストの場合、露光量ごとに測定した溶解速度、レジストの膜厚方向の位置ごとに測定した溶解速度を図 1 のようにプロットして得られた変化率 g は、ほぼ同じ値を示す。図 1 の近似曲線 2 2 は、全アルカリ濃度領域で直線になる。この場合には、変化率 g が一定であるとして溶解速度 $R(x, y)$ の変調を行うことができる。

【0033】

また、図 2 に示すように、レジストの膜厚方向の位置によって変化率 g が変化するレジスト (レジスト A) もある。図 2 において、変化率 g は、露光量に関して平均した値を用いている。横軸において 0 nm がレジスト膜の下面を示し、400 nm がレジスト膜の上面を示す。図 2 に示すように、レジスト膜内部では変化率 g は一定であり、レジスト膜上部、下部で変化率 g が変化している。そこで、レジスト膜の上部、内部、下部に分けて、それぞれ変化率 g を設定する。レジスト膜内部の膜厚方向の位置 p が 32 nm ~ 205 nm の範囲では、平均をとって変化率を一定値 $g = 23.6$ とする。レジスト膜上部、下部では変化率 g を (8) 式及び (9) 式のようにそれぞれ直線近似する。なお、後述する形状シミュレーションにおいては、膜厚方向の位置ごとの変化率 g (Gradient) をテーブルとして作成し、膜厚方向の位置に応じて変化率 g を変化させる。

【0034】

$$g = 0.1673 p + 18.08 \quad (p=0 \sim 32) \quad \dots (8)$$

$$g = 0.023 p + 18.61 \quad (p=205 \sim 379) \quad \dots (9)$$

これらの他にも、膜厚方向の位置と同様に、露光量や現像液のアルカリ濃度に依存して変化率 g が若干変化するレジストもある。露光量に依存して変化率 g が変化する場合、図 2 における横軸を露光量に置き換えることで、膜厚方向の位置と同様にして変化率 g を設定することが出来る。即ち、露光量変動に対して変化

率 g が一定値を取る領域及び変化率 g が変化する領域で異なる変化率 g を設定する。

【0035】

現像液のアルカリ濃度 c に依存して変化率 g が変化する場合、図 1 の近似曲線 22 の傾き (変化率 g) が一定ではなくなる。この場合、アルカリ濃度 c を低・中・高などの複数の領域に分割し、領域ごとの近似曲線 22 の傾きを変化率 g として設定して、アルカリ濃度 c に対する変化率 g のテーブルを作成する。なお、現像の進行によるアルカリ濃度 c の変化量は光学像強度や感光反応生成物濃度の空間平均量 $G(x, y)$ に比例すると考えられる。したがって、後述する形状シミュレーションにおいて、変化率 g のアルカリ濃度依存性は、空間平均量 $G(x, y)$ に応じて設定してもよい。即ち、空間平均量 $G(x, y)$ をアルカリ濃度に対応するように複数の領域に分割し、領域ごとに空間平均量 $G(x, y)$ に対する変化率 g のテーブルを設定してもよい。

【0036】

更に、図 3 (a) 及び図 3 (b) に示すように、現像液のアルカリ濃度、露光量、及びレジストの膜厚方向の位置に応じて、変化率 g が劇的に変化するレジスト (レジスト B) もある。

【0037】

図 3 (a) 及び図 3 (b) において横軸は露光量を示し、グラフの右上の “0.21-0.24” はアルカリ濃度が 0.21 N から 0.24 N の間の変化率 g を示し、“0.24-0.27” はアルカリ濃度が 0.24 N から 0.27 N の間の変化率 g を示す。膜厚方向の位置、露光量、現像液のアルカリ濃度によって変化率 g の値が大きく異なることがわかる。図 3 (a) 及び図 3 (b) に示す測定結果を元にして、膜厚方向の位置、露光量、アルカリ濃度を変数にして、アルカリ濃度に対する溶解速度の対数の変化率 g のテーブルを作成する。図 3 (a) 及び図 3 (b) に示す変化率 g の測定値をテーブルにそのまま記載してもよい。しかし、測定値に含まれる測定誤差を考慮すると、直線近似できる領域は、平均を取って一定値とする。直線近似できる領域には、例えば、図 3 (a) のアルカリ濃度が 0.24 N から 0.27 N の間の露光量 5.7 mJ 以下と 6.0 mJ

以上の領域が含まれる。また、図3 (a) のアルカリ濃度が0.24 Nから0.27 Nの間の露光量5.7 mJ から6.0 mJの間では直線近似を行う。

【0038】

なお、ここでは(3)式に基づいて計算した溶解速度の変化率 g の求め方について述べた。しかし、アルカリ濃度 c と溶解速度 $R(x, y)$ の関係を近似する関数は、(3)式に限られるわけではない。アルカリ濃度 c と溶解速度 $R(x, y)$ との関係を(3)式とは異なる式にて表したとしても、溶解速度の変化率が膜厚方向の位置、露光量、アルカリ濃度により変化する可能性があることは現象論的にも予想できる。

【0039】

溶解速度の変化率 g がレジストの膜厚方向の位置によって変化することは、光酸発生剤(PAG)の偏析、酸の蒸散によって引き起こされ得る。矩形形状のレジストパターンを作るためレジスト膜の表面にPAGが偏析するように設計されているレジストがある。このようなレジストでは、PAGによる溶解抑止効果が膜表面と膜内部で異なるため、溶解速度の変化率 g が膜厚方向の位置によって変化し得る。また、膜表面から酸が蒸散してしまい、レジスト膜表面の酸濃度が低下してレジスト膜表面の溶解速度が遅くなることは良く知られている。このため、溶解速度の変化率 g が膜厚方向の位置によって変化することも有りうる。

【0040】

溶解速度の変化率 g が露光量に依存して変化することは、レジストに複数種類の樹脂が混合されていることによっても起こりうる。レジスト形状を維持し、ラフネスを低減させるために、異なる分子量を持つ樹脂や異なる樹脂を混合した樹脂系レジストを用いることが一般的に行われている。露光により外れる保護基の数で樹脂の溶解確率は変わる。このため、レジスト内に複数の樹脂が存在する場合には露光量により溶解する樹脂の比率が変わり得る。樹脂によって溶解速度の変化率 g が異なれば、露光量によって溶解速度の変化率 g は変わる。また、初期のアルカリ濃度 c_0 によってもレジスト中の樹脂の溶解確率は変わる。したがって、レジスト内に複数の樹脂が存在する場合には、初期のアルカリ濃度 c_0 によっても変化率 g は変わりうる。

【0041】

レジストの溶解挙動は完全には解明されていないため、アルカリ濃度 c の変動に対応した溶解速度の変化率 g が変化する可能性がある現象を網羅的に述べることは現時点ではできない。しかし、アルカリ濃度 c と溶解速度 $R(x, y)$ の関係を近似する関数を (3) 式から他の式 (例えば、(2) 式など) へ変えたとしても、アルカリ濃度変動に対応した溶解速度の変化率 g が膜厚方向の位置、ドーズ量、アルカリ濃度により変化させることは妥当である。

【0042】

以上説明したアルカリ濃度 c の変動に対応した溶解速度の変化率 g を用いて、レジストの形状をシミュレーションする方法について以下に説明する。

【0043】

(第1の実施の形態)

図4に示すように、本発明の第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法を実施する為の装置は、形状シミュレーション方法を実施する為の機能手段を備えた演算部1と、演算部1に接続されたデータ記憶部2及びプログラム記憶部3とを少なくとも有する。データ記憶部2は、形状シミュレーション装置の動作に必要な露光条件、マスクパターン、現像パラメータ12などの各種データを記憶する。プログラム記憶部3は、形状シミュレーション装置の動作に必要な各種アプリケーションソフトウェア、ミドルウェア、及びオペレーティングシステム(OS)を記憶する。

【0044】

演算部1は、感光性膜(レジスト)の光学的強度を計算する光学的強度計算部と、光学的強度の空間平均量を計算する空間平均量計算部8と、露光条件やマスクパターン、溶解速度、アルカリ濃度に対するレジストの溶解速度の変化率等を読み込む溶解速度変化率読込部9と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する溶解速度計算部10と、溶解速度からレジストのパターンの形状を計算するパターン形状計算部11とを有する。

【0045】

ここで、「光学的強度」には、光学像強度と感光反応生成物濃度とが含まれる

。第1の実施の形態では、光学的強度として「光学像強度」を例にとり説明を続ける。したがって、「光学的強度計算部」は、レジストの光学像強度を計算する光学像強度計算部7を示し、空間平均量計算部8は、光学像強度の空間平均量を計算する。また、アルカリ濃度に対するレジストの溶解速度の変化率として、アルカリ濃度に対するレジストの溶解速度の対数の変化率 g を例に取り、説明する。

【0046】

演算部1は、通常のコンピュータシステムの中央処理装置（CPU）の一部を構成している。光学像強度計算部7、空間平均量計算部8、溶解速度変化率読込部9、溶解速度計算部10、及びパターン形状計算部11は、専用のハードウェアで構成しても良く、通常のコンピュータシステムのCPUを用いてソフトウェアで実質的に等価な機能を有する機能手段として構成しても良い。なお、図示は省略するが、形状シミュレーション装置は、例えば、形状シミュレーション方法を実施する為のコンピュータ読み取り可能なプログラム、及び演算部1が処理するデータを一時的に記憶するランダムアクセスメモリ（RAM）などの主記憶装置を備える。データ記憶部2及びプログラム記憶部3は、リードオンリメモリ（ROM）あるいは磁気ディスク装置などで構成される補助記憶装置に相当する。演算部1は、入出力制御部4を介して操作者からのデータや命令などの入力を受け付ける入力装置6、及びレジスト形状を出力する出力装置5に接続されている。入力装置6は、キーボード、マウス、ライトペン又はフレキシブルディスク装置から構成されている。出力装置5は、ディスプレイ装置やプリンタ装置から構成されている。

【0047】

次に、本発明の第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法について、図5及び図6を参照して説明する。まず、形状シミュレーションに必要な現像パラメータ α 、 k を最適化する方法について図5を参照して説明する。なお、現像パラメータ α 、 k は、(7)式及び(6)式にてそれぞれ用いられている。

【0048】

(イ) 先ず、N個のレジストパターンを実験的に形成する。S101段階にお

いて、N個のレジストパターンの寸法を測定する。i番目のレジストパターンについて寸法実測値 $W_{i,0}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)をデータ記憶部2に記憶する。なお、レジストパターンの数(N)は、最適化するパラメータの数より多くとる必要がある。ここでは、現像パラメータ α 、 k の数が2つなので、Nを3以上に設定する。

【0049】

(ロ) S102段階において、パターン形成時に使用する現像液の初期の溶解速度 $R(c_0)$ 及び現像途中の溶解速度 $R(c)$ を測定する。具体的には、現像液の初期のアルカリ濃度 c_0 を変化させて、異なるアルカリ濃度 c を有する現像液を作成し、このアルカリ濃度 c における溶解速度 $R(c)$ を測定する。

【0050】

(ハ) S103段階において、図1乃至図3を参照して説明したように、測定された溶解速度 $R(c)$ を用いて、現像液のアルカリ濃度 c に対する溶解速度 $R(c)$ の対数の変化率 g を計算し、変化率 g のテーブルを作成する。変化率 g は完全に定数である場合、若しくは、現像液のアルカリ濃度、レジストの膜厚方向の位置、露光量により異なる値をテーブルとして持つ場合がある。よって、近似関数を求めることができれば、フィッティング関数の形で変化率 g を求める。初期の溶解速度 $R(c_0)$ は露光量に依存するため、テーブル或いはフィッティング関数として与える。求めた変化率 g は、データ記憶部2に記憶される。以上、S101～S103を経て、現像パラメータ α 、 k を最適化するために必要な実験値を測定することができる。

【0051】

(ニ) S104段階において、実測に用いた露光条件、パターン配置やマスク寸法などのマスクパターンに関する条件、後述する現像パラメータの最適化の基準となるしきい値 δ 、必要なパラメータセットの数 M を、設定する。これらの条件設定は、データ記憶部2に記憶されたデータを読み込む形式、或いは操作者が入力装置6を用いて設定する形成の何れでも構わない。なお、実測に用いた露光条件には、NA、 σ といった照明条件や露光量が含まれる。パラメータセットとは、最適化すべき現像パラメータ α 、 k の組み合わせを示す。パラメータセット

として、1番目のパラメータセット α_1 、 k_1 から、M番目のパラメータセット α_M 、 k_M までを用意する。

【0052】

(ホ) S105段階において、実測に用いた露光条件及びマスクパターンに関する条件を用いて、光学像強度 $I(x, y)$ を計算する。次に、S106段階において、光学像強度 $I(x, y)$ の計算結果を用いて、(6)式により光学像強度の空間平均量 $G(x, y)$ を計算する。次に、S107段階において、実測により求めた溶解速度 $R(c_0)$ 、及び(3)式で表されるアルカリ濃度の変動に対する溶解速度の対数の変化率 g を読み込む。変化率 g は、定数、またはテーブルとして読み込まれる。

【0053】

(ヘ) S108段階において、 n 番目のパラメータセット α_n 、 k_n を読み込む。1回目の計算の場合は、 $n=1$ を設定する。S109段階において、空間平均量 $G(x, y)$ 及び変化率 g を用いて溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。次に、S110段階において、溶解速度 $R(x, y)$ 及びS105段階で計算された光学像強度 $I(x, y)$ を用いてレジストのパターンの形状を計算する。S111段階において、 i 番目のレジストパターンについて、S101段階の寸法実測値 $W_{i,0}$ に対応する注目箇所の寸法計算値 $W_{i,n}$ ($i=1, 2, 3, \dots, N$)を求める。

【0054】

(ト) S112段階において、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ とをしきい値 δ を基準として比較する。具体的には、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の2乗を N 個のレジストパターンについて足した値 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ がしきい値 δ^2 よりも小さい場合S113へ進み、 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ がしきい値 δ^2 よりも大きい場合S114へ進む。なお、1回目の計算($n=1$)の場合は、しきい値として $\delta = (\sum |W_{i,1} - W_{i,0}|^2)^{1/2}$ を用いる。

【0055】

(チ) S113段階において、 $\delta = (\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2)^{1/2}$ を新たなしきい値とする。S114段階において、 n と M が一致するか否かを判断する。ここでは

n 番目のパラメータセット α_n 、 k_n が用いられている。n と用意されたパラメータセットの数 M とが一致していれば (S 114 において Yes)、図 5 に示すフローチャートは終了する。n と用意されたパラメータセットの数 M とが異なれば (S 114 において No)、まだ計算されていないパラメータセットがあることになり、S 115 段階へ進む。

【0056】

(リ) S 115 段階において n+1 番目のパラメータセット α_{n+1} 、 k_{n+1} を用意する。そして、新たなパラメータセット α_{n+1} 、 k_{n+1} を用いて、S 108 ~ S 114 段階のループを実施する。1 番目から M 番目のパラメータセットについて、S 108 ~ S 114 段階のループを繰り返し実施する。

【0057】

以上説明したように、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の 2 乗を各パターンについて足した結果 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が最小になるパラメータセットを検索することで、現像パラメータ α 、 k の最適化をすることができる。

【0058】

次に、最適化された現像パラメータ α 、 k を用いて形状シミュレーションを行う方法を図 6 を参照して説明する。

【0059】

(I) 先ず、S 121 段階において、寸法予測を行いたいパターンの露光条件、パターン配置やマスク寸法などのマスクパターンに関する条件、初期の溶解速度 $R(c_0)$ 、溶解速度の変化率 g 、及び現像パラメータ α 、 k を、それぞれ設定する。これらの条件設定は、データ記憶部 2 に記憶されたデータを読み込む形式、或いは操作者が入力装置 6 を用いて設定する形成の何れでも構わない。なお、露光条件には、NA、 σ といった照明条件や露光量が含まれる。現像パラメータ α 、 k は、図 5 のフローチャートにより最適化されたものを示す。溶解速度の変化率 g は、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及びレジストを現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて変化する。

【0060】

(II) S 122 段階において、設定した露光条件及びマスクパターン等の条件

から、レジストの所定位置 (x, y) における光学像強度 $I(x, y)$ を計算する。

【0061】

(III) S123 段階において、光学像強度 $I(x, y)$ の計算結果を用いて、(6) 式により光学像強度の空間平均量 $G(x, y)$ を計算する。

【0062】

(IV) S124 段階において、空間平均量 $G(x, y)$ 、実験により求めた初期の溶解速度 $R(c_0)$ 、変化率 g 、及び最適化された現像パラメータ α 、 k を用いて、レジストの所定位置における溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。

【0063】

(V) S125 段階において、溶解速度 $R(x, y)$ 及び S122 段階で計算された光学像強度 $I(x, y)$ を用いてレジストのパターンの形状を計算する。そして、最後に S126 段階において、着目箇所の寸法計算値 W を求める。以上の手順を経て、着目箇所におけるレジストのパターン寸法を求めることができる。

【0064】

上記の形状シミュレーションにおいて、レジストの所定位置における溶解速度は、レジストの所定位置における光学的強度の空間平均量に応じて変化している。この溶解速度の対数の変化率 g は、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及び現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて設定されている。つまり光学像強度の空間平均量に対する溶解速度の変化率 g_α も、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及び現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて設定されている。したがって、実際の現像挙動を反映した形状シミュレーションを行うことが出来、精度よく、形状予測及び寸法予測を行うことができる。

【0065】

なお、図 5 において、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の 2 乗を各パターンについて足した結果 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が最小になるように、しきい値 δ を更新した。しかし、差分 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ を最小にすることが目的であり、図

5に示した方法に限定されるものではない。

【0066】

以上の説明において、光学的強度の一例として光学像強度 $I(x, y)$ を用いてシミュレーションを行った。しかし、本発明はこれに限定されることはない。光学的強度の他の例として、露光・ポストエクスポージャーベークにより反応した「感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ 」を、光学像強度 $I(x, y)$ の代わりに用いても構わない。以下、感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ を用いた場合について説明する。

【0067】

図12に示すように、本発明の第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法を実施する為の装置は、演算部1と、演算部1に接続されたデータ記憶部2及びプログラム記憶部3とを少なくとも有する。データ記憶部2は、形状シミュレーション装置の動作に必要な露光条件、マスクパターン、現像パラメータ12、感光反応パラメータ32などの各種データを記憶する。

【0068】

演算部1は、感光反応生成物濃度計算部31と、感光反応生成物濃度の空間平均量を計算する空間平均量計算部8と、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及びレジストを現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて変化する、アルカリ濃度に対するレジストの溶解速度の変化率を読み込む溶解速度変化率読込部9と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する溶解速度計算部10と、溶解速度からレジストのパターンの形状を計算するパターン形状計算部11とを有する。

【0069】

演算部1は、通常のコンピュータシステムのCPUの一部を構成している。感光反応生成物濃度計算部31、空間平均量計算部8、溶解速度変化率読込部9、溶解速度計算部10、及びパターン形状計算部11は、専用のハードウェアで構成しても良く、通常のコンピュータシステムのCPUを用いてソフトウェアで実質的に等価な機能を有する機能手段として構成しても良い。演算部1は、入出力制御部4を介して操作者からのデータや命令などの入力を受け付ける入力装置6

、及びレジスト形状を出力する出力装置 5 に接続されている。

【0070】

次に、形状シミュレーション方法について、図 13 乃至図 15 を参照して説明する。まず、形状シミュレーションに必要な感光反応パラメータ及び現像パラメータ α 、 k を最適化する方法について図 13 及び図 14 を参照して説明する。

【0071】

光学像強度の場合、現像パラメータ α 、 k について図 5 に示すフローに従って最適化を行った。感光反応生成物濃度を用いる場合には、現像パラメータ α 、 k の他に、感光反応のモデルを立てて感光反応パラメータを最適することも必要となる。感光反応パラメータは実測できるものもあるが、実測できないものも多数ある。このため、現像パラメータのみならず、感光反応パラメータの最適化も同時に行う必要がある。露光による感光反応はノボラック系レジストと化学増幅型レジストで異なる。このため、感光反応のモデルが異なる。さらに、化学増幅型レジストにおいては反応が複雑なため（例えば SPIE vol14404 p99）、寸法に影響を与える反応及びパラメータをレジストにより適宜選択することになる。なおここでは、感光反応パラメータには、酸発生効率、反応速度定数、反応次数、拡散定数が含まれる。

【0072】

(イ) 先ず、 N 個のレジストパターンを実験的に形成する。図 13 に示す S201 段階において、 N 個のレジストパターンの寸法を測定する。 i 番目のレジストパターンについて寸法実測値 $W_{i,0}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) をデータ記憶部 2 に記憶する。なお、レジストパターンの数 (N) は、最適化するパラメータの数より多くとる必要がある。即ち、最適化するパラメータの数を τ とすると、最適化に使用するレジストパターンの数 (N) は $\tau + 1$ 以上にする必要がある。

【0073】

(ロ) S202 段階において、パターン形成時に使用する現像液の初期の溶解速度 $R(c_0)$ 及び現像途中の溶解速度 $R(c)$ を測定する。具体的には、現像液の初期のアルカリ濃度 c_0 を変化させて、異なるアルカリ濃度 c を有する現像

液を作成し、このアルカリ濃度 c における溶解速度 $R(c)$ を測定する。

【0074】

(ハ) S203 段階において、図1乃至図3を参照して説明したように、測定された溶解速度 $R(c)$ を用いて、現像液のアルカリ濃度 c に対する溶解速度 $R(c)$ の対数の変化率 g を計算し、変化率 g のテーブルを作成する。変化率 g は完全に定数である場合、若しくは、現像液のアルカリ濃度、レジストの膜厚方向の位置、露光量により異なる値をテーブルとして持つ場合がある。よって、近似関数を求めることができれば、フィッティング関数の形で変化率 g を求める。初期の溶解速度 $R(c_0)$ は露光量に依存するため、テーブル或いはフィッティング関数として与える。求めた変化率 g は、データ記憶部2に記憶される。以上、S201～S203を経て、現像パラメータ及び感光反応パラメータを最適化するために必要な実験値を測定することができる。

【0075】

(ニ) S204 段階において、実測に用いた露光条件、パターン配置やマスク寸法などのマスクパターンに関する条件、後述するパラメータの最適化の基準となるしきい値 δ 、必要なパラメータセットの数 M を、設定する。これらの条件設定は、データ記憶部2に記憶されたデータを読み込む形式、或いは操作者が入力装置6を用いて設定する形成の何れでも構わない。なお、実測に用いた露光条件には、 NA 、 σ といった照明条件や露光量が含まれる。パラメータセットとは、最適化すべき現像パラメータ α 、 k 、及び感光反応パラメータの組み合わせを示す。パラメータセットとして、1番目のパラメータセットから、 M 番目のパラメータセットまでを用意する。

【0076】

(ホ) S205 段階において、実測に用いた露光条件及びマスクパターンに関する条件を用いて、光学像強度 $I(x, y)$ を計算する。次に、S206 段階において、実測により求めた溶解速度 $R(c_0)$ 、及び(3)式で表されるアルカリ濃度の変動に対する溶解速度の対数の変化率 g を読み込む。変化率 g は、定数、またはテーブルとして読み込まれる。

【0077】

(へ) 図 14 に示す S 2 0 7 段階において、 n 番目のパラメータセットを読み込む。 n 番目のパラメータセットには、感光反応パラメータ及び現像パラメータ α_n 、 k_n が含まれる。感光反応パラメータには、酸発生効率 C_{eff} 、反応速度定数 $k_{1,n}$ 、 $k_{2,n}$ 、 \dots 、反応次数 p_n 、 q_n 、 \dots 、拡散定数 $D_{1,n}$ 、 $D_{2,n}$ が含まれる。1 回目の計算の場合は、 $n = 1$ を設定する。S 2 0 8 段階において、光学像強度 $I(x, y)$ と n 番目のパラメータセットを用いて感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ を計算する (SPIE vol4404 p99 では、 X_M が $M(x, y)$ に対応する。)。

【0078】

(ト) S 2 0 9 段階において、感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ の計算結果を用いて、(6) 式により空間平均 $G(x, y)$ を計算する。ここでは (6) 式の $I(x, y)$ を $M(x, y)$ に置き換えた式を用いる。S 2 1 0 段階において、空間平均量 $G(x, y)$ 及び変化率 g を用いて溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。次に、S 2 1 1 段階において、溶解速度 $R(x, y)$ 及び S 2 0 8 段階で計算された感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ を用いてレジストのパターンの形状を計算する。S 2 1 2 段階において、 i 番目のレジストパターンについて、寸法実測値 $W_{i,0}$ に対応する注目箇所の寸法計算値 $W_{i,n}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) を求める。

【0079】

(チ) S 2 1 3 段階において、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ とをしきい値 δ を基準として比較する。具体的には、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の 2 乗を N 個のレジストパターンについて足した値 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ がしきい値 δ^2 よりも小さい場合 S 2 1 4 へ進み、 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ がしきい値 δ^2 よりも大きい場合 S 2 1 5 へ進む。なお、1 回目の計算 ($n = 1$) の場合は、しきい値として $\delta = (\sum |W_{i,1} - W_{i,0}|^2)^{1/2}$ を用いる。

【0080】

(リ) S 2 1 4 段階において、 $\delta = (\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2)^{1/2}$ を新たなしきい値とする。S 2 1 5 段階において、 n と M が一致するか否かを判断する。ここでは n 番目のパラメータセットが用いられている。 n と用意されたパラメータセット

の数 M とが一致していれば (S 2 1 5 において Yes)、図 1 3 及び図 1 4 に示すフローチャートは終了する。 n と用意されたパラメータセットの数 M とが異なれば (S 2 1 5 において No)、まだ計算されていないパラメータセットがあることになり、S 2 1 6 段階へ進む。

【0081】

(ヌ) S 2 1 6 段階において $n + 1$ 番目のパラメータセットを用意する。そして、新たなパラメータセットを用いて、S 2 0 7 ~ S 2 1 5 段階のループを実施する。1 番目から M 番目のパラメータセットについて、S 2 0 7 ~ S 2 1 5 段階のループを繰り返し実施する。

【0082】

以上説明したように、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の 2 乗を各パターンについて足した結果 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が最小になるパラメータセットを検索することで、現像パラメータ α 、 k 及び感光反応パラメータの最適化をすることができる。

【0083】

なお、感光反応モデル、感光反応パラメータは上記に述べたようにレジストに依存するため、上記モデルに限定されるものではなく、適宜選択可能である。

【0084】

次に、最適化された現像パラメータ α 、 k 及び感光反応パラメータを用いて、寸法予測を行いたいパターンについて形状シミュレーションを行う方法を図 1 5 を参照して説明する。

【0085】

(I) 先ず、S 2 2 1 段階において、寸法予測を行いたいパターンの露光条件、パターン配置やマスク寸法などのマスクパターンに関する条件、初期の溶解速度 $R(c_0)$ 、溶解速度の変化率 g 、現像パラメータ α 、 k 、及び感光反応パラメータ及びその実測値をそれぞれ設定する。これらの条件設定は、データ記憶部 2 に記憶されたデータを読み込む形式、或いは操作者が入力装置 6 を用いて設定する形成の何れでも構わない。なお、露光条件には、 NA 、 σ といった照明条件や露光量が含まれる。現像パラメータ α 、 k 、及び感光反応パラメータは、図 1

3 及び図 14 のフローチャートにより最適化されたものを示す。溶解速度の変化率 g は、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及びレジストを現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも 1 つに応じて変化する。

【0086】

(II) S 2 2 2 段階において、設定した露光条件及びマスクパターン等の条件から、レジストの所定位置 (x, y) における光学像強度 $I(x, y)$ を計算する。

【0087】

(III) S 2 2 3 段階において、光学像強度 $I(x, y)$ 、及び図 13 及び図 14 に示したフローで最適化した感光反応パラメータを用いて反応物濃度 $M(x, y)$ を計算する。

【0088】

(IV) S 2 2 4 段階において、反応物濃度 $M(x, y)$ の計算結果を用いて、(6) 式により光学像強度の空間平均量 $G(x, y)$ を計算する。ここでは (6) 式の $I(x, y)$ を $M(x, y)$ に置き換えた式を用いる。

【0089】

(V) S 2 2 5 段階において、空間平均量 $G(x, y)$ 、実験により求めた初期の溶解速度 $R(c_0)$ 、変化率 g 、及び最適化された現像パラメータ α 、 k を用いて、レジストの所定位置における溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。

【0090】

(VI) S 2 2 6 段階において、溶解速度 $R(x, y)$ 及び S 2 2 3 段階で計算された感光反応物濃度 $M(x, y)$ を用いてレジストのパターンの形状を計算する。そして、最後に S 2 2 7 段階において、着目箇所の寸法計算値 W を求める。以上の手順を経て、着目箇所におけるレジストのパターン寸法を求めることができる。

【0091】

上記の形状シミュレーションにおいて、レジストの所定位置における溶解速度は、レジストの所定位置における光学的強度の空間平均量に応じて変化している。この溶解速度の対数の変化率 g は、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の

位置、及び現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて設定されている。つまり光学像強度の空間平均量に対する溶解速度の変化率 g も、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及び現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて設定されている。したがって、実際の現像挙動を反映した形状シミュレーションを行うことが出来、精度よく、パターン形状及びパターン寸法を求めることができる。

【0092】

なお、図14において、寸法実測値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の2乗を各パターンについて足した結果 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が最小になるように、しきい値 δ を更新した。しかし、差分 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ を最小にすることが目的であり、図14に示した方法に限定されるものではない。

【0093】

次に、具体的な各種のレジストについてシミュレーションを行った結果を示す。本発明の第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法をラインパターンに適用した場合について述べる前に、まず、特開平10-64792号公報（特許文献1）に開示されている方法によるシミュレーション結果について説明する。

【0094】

特許文献1においては、溶解速度の変化率は潜像強度又は感光剤濃度の空間平均量に比例している。また、溶解速度の変化率を、実測せずに一定値を持つとして仮定し、現像パラメータの1つとして最適化している。具体的には、溶解速度の変化率を、潜像強度または感光剤濃度の空間平均量に比例するとしているため、(7)式の代わりに、(10)式を用いる。

【0095】

$$R(x, y) = R(c_0) [1 + \gamma \{G(x, y) - G_0\}] \quad \dots (10)$$

特許文献1における「 γ 、 k 、 G_0 」を現像パラメータとし、図5に示す、現像パラメータ α 、 k と同様に最適化する。なお、この場合は、変化率 g は実測せず、データ記憶部2から読み込みもしない。最適化には、 $0.13 \mu\text{m} \sim 0.2 \mu\text{m}$ までの1:1のラインアンドスペース (L & S) パターンを用いる。露光条

件は、 $NA=0.6$ 、 $\sigma=0.75$ 、 $\epsilon=2/3$ の輪体照明である。反射防止膜上に膜厚 300 nm でレジストを塗布した膜構造を有する。

【0096】

しかし、レジスト C を用いた場合、現像パラメータが収束せず、図 5 に示す最適化を行うことができなかった。そこで、(7) 式を用い、現像パラメータとして k 、 $g\alpha$ を使用して形状シミュレーションを行った。なお、この場合も、変化率 g の実測はしておらず、データ記憶部 2 からの読み込みもしていない。その結果、パラメータが収束し、最適化することができた。

【0097】

次に、 $0.13\ \mu\text{m}$ のラインパターンのスペース幅を変化させたパターンについてレジスト C を用いて仕上がり寸法予測を行った。その結果、マスクのライン幅を一定にし、スペース幅を変化させたとき、ライン幅は、ライン：スペース幅が 1：1 の箇所に比べて、1：2、1：3 の箇所において細くなり、さらにスペース幅が広くなるにつれてライン幅が太くなった。このような現像挙動はほとんどのレジストで共通である。実際にレジスト C で最適化された現像パラメータを用いてシミュレーションを行い、仕上がりライン寸法を求めたところ、このような現像挙動を再現するだけでなく、寸法予測値は寸法実験値と合致する値を得ることができた。

【0098】

実際にレジスト C について (3) 式で表される変化率 g を測定したところ、レジスト C は現像液の濃度、露光量、レジストの膜厚方向の位置でほとんど変化率 g が変化しないレジストであった。実測した変化率 g の値とシミュレーションにより得られた最適値もほぼ一致しており、(3) 式及び (7) 式を用いることが妥当であることが分った。また、現像液のアルカリ濃度、露光量、レジストの膜厚方向の位置によって、ほとんど変化率 g が変化しないレジストの場合には、変化率 g を実測しなくとも現像パラメータの一つとして図 5 に示すフローチャートに従って最適化することが可能であることがわかった。

【0099】

しかし、上記の手法は万能ではなかった。即ち、上記の手法は、レジストの膜

厚方向の位置で変化率 g が変化する図 2 に示したレジスト A について、現像パラメータ α 、 k を最適化することはできた。しかし、これらの最適値をもちいて $0.13 \mu\text{m}$ のラインパターンのスペース幅を変化させたパターンについて仕上がりが寸法予測を精度よく行うことが出来ない。具体的には、上記の手法は、スペース幅を変えていったときのライン幅の挙動は再現できるが、寸法予測値は寸法実験値と一致しなかった。そこで、変化率 g の値をレジスト膜の上部と内部、下部に分けて上記に述べたように設定する。このことにより、寸法予測値は寸法実験値を再現することができた。

【0100】

また、上記の手法は、現像液のアルカリ濃度、露光量、レジストの膜厚方向の位置で変化率 g が劇的に変化する図 3 (a) 及び図 3 (b) に示したレジスト B について、現像パラメータの最適化の過程で現像パラメータを収束させることができなかった。レジスト B に対する変化率 g を測定すると、図 3 (a) 及び図 3 (b) に示したように劇的に変化しているため、現像パラメータが収束しなかったと考えられる。そこで、変化率 g を測定し、変化率 g のテーブルを、現像液の濃度、露光量、レジストの膜厚方向の位置に関して作成する。そして、テーブルとしての変化率 g の値を用いて現像パラメータ α 、 k を最適化した。このことにより、現像パラメータの収束値を得ることができた。そして、 $0.13 \mu\text{m}$ のラインパターンのスペース幅を変化させて仕上がりが寸法を予測した。その結果、スペース幅を変えていったときのライン幅の挙動を再現することができた。また、寸法予測値を寸法実験値と合致させることが出来た。このように実測した変化率 g をテーブルとしてもち、それを使ってパラメータの最適化及び形状シミュレーションを行なうことで、精度良く寸法予測ができることがわかった。

【0101】

なお、第 1 の実施の形態では、(3) 式に示したように、溶解速度 $R(c)$ の対数に関する変化率 g を用いた。しかし、アルカリ濃度変動に対応する溶解速度の変化率を示す式は、(3) 式に限定されるものではない。例えば、(2) 式に示すように溶解速度 $R(c)$ の対数がアルカリ濃度の対数に対して比例する場合には、(11) 式を用いて変化率 g を設定しても構わない。

【0102】

$$\partial \{\log R(c)\} / \partial \{\log c\} = g \quad \dots (11)$$

第1の実施の形態においては、(6)式に示したように、パターン周囲の溶解量を光学像強度 $I(x, y)$ の空間平均値 $G(x, y)$ として求めた。しかし、空間平均値 $G(x, y)$ はこれに限定されるものではない。ポジレジストの場合には、(12)式に示す近似関数 $H(x, y)$ を用いることも可能である。

【0103】

$$H(x, y) = \iint dx' dy' I(x, y) f(a) \exp\{-(x-x')^2 + (y-y')^2\} / k^2\} \quad \dots (12)$$

(12)式において、 $I(x, y) \geq a$ の場合 $f(a) = 1$ であり、 $I(x, y) < a$ の場合 $f(a) = 0$ である。これは次のような根拠に基づく。通常パターンを形成するための露光量では、レジストの溶解速度は非常に速く、数千 nm/sec 程度であり、一定露光量以上の領域は瞬時に溶解する。この後パターンエッジ部分の寸法を決める領域の現像が始まる。つまり、高露光領域のレジストが溶解してアルカリ濃度が変化し、アルカリ濃度が低下した現像液でパターンエッジ部分が溶解すると考えられる。このため、光学像強度 $I(x, y)$ が一定値 (a) 以上の値を示す領域についてのみ考慮し、光学像強度 $I(x, y)$ が一定値 (a) に満たない領域については考慮する必要はない。これにより計算時間を短縮することが出来る。一方、ネガ型レジストの場合には、(12)式において、 $I(x, y) \geq a$ の場合 $f(a) = 0$ であり、 $I(x, y) < a$ の場合 $f(a) = 1$ である。

【0104】

なお、(12)式に示す近似関数 $H(x, y)$ を用いた場合であっても、露光・ポストエクスポージャーベークにより反応した感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ を $I(x, y)$ の代わりに用いることができる。この場合、(12)式における一定値 (a) は現像パラメータとして、 α や k と同様にシミュレーションの際に最適化することができる。

【0105】

現像初期に大面積溶解領域が溶解したことによりアルカリ濃度が変化した現像

液が低露光領域を溶解させ、最終的な仕上がり寸法を決めるという現象をモデル化をでき、精度を維持しながら計算時間の短縮化を図れる。

【0106】

特に、空間平均量は、光強度または感光反応生成物濃度が一定値以上または一定値以下の領域について空間平均を計算したものをを用いる。これにより、現像初期に大面積溶解領域が溶解したことによりアルカリ濃度が変化した現像液が低露光領域を溶解させ、最終的な仕上がり寸法を決めるという現象モデルが実現され、精度を維持しながら計算時間の短縮化を図れる。

【0107】

上述した形状シミュレーション方法は、時系列的につながった一連の処理又は操作、即ち「手順」として表現することができる。従って、この方法を、コンピュータシステムを用いて実行するために、コンピュータシステム内のプロセッサなどが果たす複数の機能を特定するプログラムとして構成することができる。また、このプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に保存することができる。この記録媒体をコンピュータシステムによって読み込ませ、このプログラムを実行してコンピュータを制御しながら上述した形状シミュレーション方法を実現することができる。この記録媒体は、図4に示したプログラム記憶部3として用いる、あるいはプログラム記憶部3に読み込ませ、このプログラムにより演算部1における種々の作業を所定の処理手順に従って実行することができる。ここで、このプログラムを保存する記録媒体としては、メモリ装置、磁気ディスク装置、光ディスク装置、その他のプログラムを記録することができるような装置が含まれる。

【0108】

このプログラムを読み取り、そこに記述された手順に従って、形状シミュレーションシステムが果たす複数の機能を制御することにより、上記の形状シミュレーション方法を実現する。この形状シミュレーション装置の本体全面には、フレキシブルディスクドライブ、及びCD-ROMドライブが設けられている。磁気ディスクとしてのフレキシブルディスクまたは光ディスクとしてのCD-ROMを各ドライブ入り口から挿入し、所定の読み出し操作を行うことにより、これら

の記録媒体に格納されたプログラムをシステム内にインストールすることができる。また、所定のドライブ装置を接続することにより、例えばゲームパックなどに使用されている半導体メモリとしてのROMや、磁気テープとしてのカセットテープを用いることもできる。

【0109】

(実験例)

第1の実施の形態の実験例では、同一パターンがアレイ状に配置されたチップ内の寸法予測について述べる。図7に示すように、実験例に関わるレイアウトパターンは、レジスト未露光部26と、レジスト未露光部26に囲まれたホールパターン部25とを有する。ホールパターン部25は、アレイ状に配列された複数のホールパターンを有する。ホールパターン部25の周囲が未露光の領域である。レジストは、膜厚300nmのポジ型レジストであってウェハの上に反射防止膜を介して塗布されている。ホールパターンのホール径は $0.2\mu\text{m}$ であって、スペースとホール径の比は1:1である。直線型のノズルから現像液を供給しながらウェハを回転させて現像液をウェハ上に均一に塗布する。露光条件は $NA=0.68$ 、 $\sigma=0.75$ 、 $\epsilon=2/3$ の輪体照明である。

【0110】

図8の横軸における「Pa、Pb」は図7のそれらに対応している。図8(a)に示すように、実際のレジストパターンにおいては、ホールパターン部25の外周に位置するPa点、Pb点では、ホールパターンが密集した中央部に比べてホール径が大きくなる。しかし、光学像強度のみで形状シュミレーションを行うと、図8(b)に示すように、Pa点、Pb点では、密集パターン中央部に比べてホール径が小さくなる。

【0111】

Pa点、Pb点の隣接領域は、大面積の未露光部である。ウェハを回転させながら直線型のノズルから現像液を供給する方法では現像液の動きはほとんどなく、溶解生成物の拡散のみである。したがって、Pa点、Pb点における現像液のアルカリ消費量は、ホールパターン部25の中央部よりも少なく、現像液のアルカリ濃度が高い状態で現像されるので、仕上がりホール径が大きくなると考えら

れる。

【0112】

そこで、第1の実施の形態において示した形状シミュレーション方法で、レジストDについて変化率 g を測定して、形状シミュレーションを行った。現像パラメータは、ホール径 $0.2\mu\text{m}$ 一定のまま、ホール径とスペースの比を振って最適化した。その結果、図8(a)に示した寸法実測値をシミュレーションによって再現することができた。したがって、第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法によれば、チップ内に大きな粗密がある場合であっても、チップ内の寸法の違いを予測することができることが分った。

【0113】

(第2の実施の形態)

第2の実施の形態では、現像液の流れにより生じる寸法差を形状シミュレーションにより予測する方法について述べる。現像液の供給時や現像液パドル形成後、プロセス条件によっては現像液の流れが生じる。この場合、現像液の流速は、溶解生成物やアルカリの拡散速度よりも速い。通常露光量では、大面積部分の溶解速度は非常に速く、数千 nm/sec 程度である。一定露光量以上の領域は瞬時に溶解する。このため、現像液の流れがある場合には、注目パターンは流れてきた現像液のアルカリ濃度の影響を受け、溶解速度が変調される。

【0114】

図9に示すように、均一に塗布されたレジスト24の上に、現像液23が供給されている。現像液23は、A点からX点に向けて一定の速度で流れている。パターン形状を計算する注目位置X点 (x, y) において、時刻 t にはA点 (α, β) から現像液が流れ込んでき、この現像液はA点においてレジストと現像液が反応して、供給された現像液濃度 c_0 が低下して濃度 c となる。したがって、X点 (x, y) における現像液のアルカリ濃度 c はA点 (α, β) 周囲の溶解量に依存する。そこで、光学像強度及びその空間平均量を計算するレジスト24上の位置A点 (α, β) は、パターン形状を計算するレジスト上の位置X点 (x, y) と異ならせる。望ましくは、光学像強度及びその空間平均量を計算するA点 (α, β) は、現像液の流速及び現像時間に応じて移動させる。具体的には、光

学像強度 $I(x, y)$ 及びその空間平均量 G を X 点で計算するのではなく、 A 点で計算する。また、 A 点 (α, β) を時間 t の関数 $(\alpha(t), \beta(t))$ として計算する。

【0115】

ポジ型レジストの場合、一定露光量以上の領域は瞬時に溶解する。現像初期の一定時間に溶解する A 点周辺の溶解量を、光学像強度の空間平均に比例するとして求める場合を考える。濃度変調関数としては (6) 式の $G(\alpha, \beta)$ ではなく、(12) 式の $H(x, y)$ を用いる。即ち、(12) 式における変数 x, y を、 α, β へ変更した (14) 式を用いる。(14) 式において、 $I(\alpha, \beta) \geq a$ の場合 $f(a) = 1$ であり、 $I(\alpha, \beta) < a$ の場合 $f(a) = 0$ である。

【0116】

$$H(\alpha, \beta) = \iint dx' dy' I(\alpha, \beta) f(a) \exp\left\{-\frac{(\alpha-x')^2 + (\beta-y')^2}{k^2}\right\} \dots (14)$$

一方、ネガ型レジストの場合は一定露光量以下の部分が溶解するので次のようになる。(14) 式において、 $I(\alpha, \beta) \geq a$ の場合 $f(a) = 0$ であり、 $I(\alpha, \beta) < a$ の場合 $f(a) = 1$ である。

【0117】

第1の実施の形態と同様に、現像液のアルカリ濃度 c の変動に対するレジストの溶解速度 $R(c)$ の対数の変化率 g は、(3) 式によって与えられる。そして、供給される現像液の初期のアルカリ濃度を c_0 とすると、溶解速度 $R(c)$ は (4) 式によって求めることができる。したがって、溶解速度 $R(x, y)$ は、(15) 式によって表わすことが出来る。各時間 t に対して (15) 式を適用して溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。

【0118】

$$\log R(x, y) = \log R(c_0) + g \eta H(\alpha(t), \beta(t)) \dots (15)$$

現像パラメータの最適化は、図5に示したフローチャートに従って行うことが出来る。ただし、現像パラメータとして、一定露光量 (a) が追加され、現像パラメータ α の代わりに現像パラメータ η を用いる。ここで最適化に用いるパターン寸法測定値は、現像液の流れがある現像を行った場合の実測値を用いても良い。

。或いは、現像液の流れのない現像を行った場合の実測値を用いても良い。

【0119】

次に、最適化された現像パラメータを使用して、寸法を予測しようとするパターンに対して形状シミュレーションを図6に示したフローチャートに従って行う。なお、光学像強度は $I(x, y)$ でなく、 $I(\alpha, \beta)$ である。空間平均量は、(14)式に示す $H(\alpha, \beta)$ を用いる。溶解速度 $R(x, y)$ は(15)式にしたがって計算する。また、形状計算を行う際には、X点における光学像強度と(15)式により求めた上記溶解速度を用いる。

【0120】

図7に示したホールパターンと同じマスクパターンを用いて、形状シミュレーションによる予測値と実験による実測値との比較を行った。図10に示すように、ここで用いるマスクパターンは、図7と同様に、レジスト未露光部26と、レジスト未露光部26に囲まれたホールパターン部25とを有する。ホールパターン部25には、複数のホールパターンが規則的にアレイ状に配列されている。ホールパターン部25の周囲には、レジスト未露光部26が配置されている。図7に示した実験例と異なる点は、現像方法である。図7では、直線型のノズルから現像液を供給しながらウェハを回転させて現像液を広げる方法（回転現像法）で現像を行った。しかし、ここではウェハを固定し、図10のノズルスキャン方向に、直線型ノズルをウェハの一端から他端にスキャンして、現像液を供給する方法（スキャン現像法）を用いた。この現像方法はウェハを回転させないため、ウェハ径が大きくなった場合や大型フォトマスク、液晶ディスプレイの場合に有効な現像方法である。しかし、現像液供給後、現像液がゆっくりと移動し、均一性を悪化させてしまうという問題がある。一方、回転現像法では現像液の移動はほとんど無視してよい。現像液が流れる方向は、図10のノズルスキャン方向に対して180度異なる。直線型ノズルを図10に向かって左から右へスキャンする。この場合、現像液供給後パドル形成された現像液は図10に向かって右から左に移動する。したがって、Pb点にはアルカリ濃度の低下しない現像液が流れ込み、ホール径は大きくなる。

【0121】

図11(a)に示すように、Pa点ではホールパターン部25中央部より若干ホール径が大きくなる。これは、現像初期に隣接する非溶解領域の影響があるためである。一方、第1の実施の形態に関わる方法では、現像液の流れを考慮しないため、図8(a)の分布を示し、図11(a)に示す現像液の流れを考慮した実測値を予測できていない。そこで、(14)式に示した $H(\alpha, \beta)$ を用いて、時間の変化とともに濃度計算を行う位置を変化させて、形状シミュレーションを行った。その結果、図11(a)の実測値と一致する寸法分布が得られ、かつ計算値と実測値が一致した。このように現像液の流れがある場合に、現像液の流れによる寸法変動を予測することが可能である。

【0122】

現像中に現像液の流れがある場合に、所定位置で感光性樹脂が溶解したためにアルカリ濃度が低下した現像液が注目位置に流れ込み、変動した寸法を予測することができる。

【0123】

なおここでは、濃度変調関数として $H(\alpha, \beta)$ を用いた。しかし、変数 x, y を α, β に代えて(6)式を用いても構わない。即ち、(16)式に従って、 $G(\alpha, \beta)$ を用いることもできる。

【0124】

$$G(\alpha, \beta) = \iint dx' dy' I(\alpha, \beta) \exp \left[\{-(\alpha-x')^2 + (\beta-y')^2\} / k^2 \right] \dots (16)$$

(第3の実施の形態)

第1及び第2の実施の形態に示した形状シミュレーション方法を用いて、パターン寸法のばらつきを低減するために、マスクパターン寸法を最適化することができる。第3の実施の形態では、予測されるパターンの形状を利用したマスクパターン作成方法及びマスクパターン寸法を最適化する方法について述べる。

【0125】

図16に示すように、本発明の第3の実施の形態に関わるマスクパターン作成方法を実施する為の装置は、マスクパターン作成方法を実施する為の機能手段を備えた演算部1と、演算部1に接続されたデータ記憶部2及びプログラム記憶部

3とを少なくとも有する。データ記憶部2は、マスクパターン作成装置の動作に必要な露光条件、マスクパターン、現像パラメータ12などの各種データを記憶する。プログラム記憶部3は、マスクパターン作成装置の動作に必要な各種アプリケーションソフトウェア、ミドルウェア、及びオペレーティングシステム(OS)を記憶する。

【0126】

演算部1は、レジストの光学像強度を計算する光学像強度計算部7と、光学像強度の空間平均量を計算する空間平均量計算部8と、レジストの露光量、レジストの膜厚方向の位置、及びレジストを現像する現像液のアルカリ濃度の少なくとも1つに応じて変化する、アルカリ濃度に対するレジストの溶解速度の変化率を読み込む溶解速度変化率読込部9と、基準パターン及びマスクパターンを読み込むパターン読込部41と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する溶解速度計算部10と、溶解速度からレジストのパターンの形状を計算するパターン形状計算部11とを有する。演算部1は、入出力制御部4を介して操作者からのデータや命令などの入力を受け付ける入力装置6、及びレジスト形状を出力する出力装置5に接続されている。

【0127】

次に、図16に示したマスクパターン作成装置を用いたマスクパターン作成方法について図17を参照して説明する。

【0128】

(イ) 先ず、S321段階において、基準パターンにおける着目箇所の所望寸法 $W_{i,0}$ ($i=1, 2, 3, \dots, N$)、寸法余裕度 δ 、寸法予測を行いたいパターンの露光条件、パターン配置やマスク寸法などのマスクパターンに関する条件を、設定する。また、使用するレジストについて現像パラメータ α 、 k や溶解速度 $R(c_0)$ 、アルカリ濃度変動に対応する変化率 g を設定する。ここで、マスクパターンに関する条件として、パターン配置やマスク寸法などを一組とするパターンセットを複数用意する。

【0129】

(ロ) S322段階において、形状シミュレーションを行うマスクパターンの

寸法 $M_{i,n}$ ($i = 1, 2, 3 \dots, N$)を読み込む。そして、S323段階において、マスクパターンの寸法 $M_{i,n}$ を変数として光学像強度 $I(x, y)$ を計算する。

【0130】

(ハ) S324段階において、(6)式を用いて、光学像強度の空間平均量 $G(x, y)$ を計算する。S325段階において、空間平均量 $G(x, y)$ 、実験により求めた初期の溶解速度 $R(c_0)$ 、溶解速度の変化率 g 、及び現像パラメータ α 、 k を用いて、レジストの所定位置における溶解速度 $R(x, y)$ を計算する。そして、S326段階において、溶解速度 $R(x, y)$ 及びS323段階で計算された光学像強度 $I(x, y)$ を用いてレジストの形状計算を行う。S327段階において、着目箇所の寸法 $W_{i,n}$ を求める。

【0131】

(ニ) S328段階において、基準パターンの所望寸法(寸法基準値) $W_{i,0}$ と形状計算されたパターンの寸法(寸法計算値) $W_{i,n}$ とを比較する。具体的には、1番目～N番目までの着目箇所の寸法について、所望寸法 $W_{i,0}$ と寸法 $W_{i,n}$ との差の2乗を加算する。計算結果 $(\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2)$ が寸法余裕度 δ^2 以下であれば(S328段階においてYes)、図17に示したフローチャートは終了する。計算結果 $(\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2)$ が寸法余裕度 δ^2 以上であれば(S328段階においてYes)、S329段階へ進む。即ち、S322段階において読み込んだマスクパターンの寸法では、S321段階において設定した基準パターンの所望寸法を、十分に再現できないと判断される。

【0132】

(ホ) S329段階において、マスクパターンのパターンセットを変更する。具体的には、マスクパターンの寸法 $M_{i,n}$ をマスクパターンの寸法 $M_{1,n+1}$ へ変更する。そして、新たなパターンセットについて、S322～S328段階のループを実施する。

【0133】

以上説明したように、寸法基準値 $W_{i,0}$ と寸法計算値 $W_{i,n}$ の差の2乗を各着目箇所について足した計算結果 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が寸法余裕度 δ^2 以下になるマス

クパターンのパラメータセットを検索することで、マスクパターン寸法を最適化することができ、最適なマスクパターンを作成することができる。なお、第3の実施の形態において、光学像強度 $I(x, y)$ の代わりに感光反応生成物濃度 $M(x, y)$ を使用しても構わない。

【0134】

また、現像プロセス起因の系統的な寸法変動を抑えることができ、所望パターンを精度良く形成できるマスク寸法の最適化方法及びマスクパターン作成方法を提供することができる。

【0135】

発明者らは、図7に示したレジストパターンについて、ホールパターンの密集部端と密集部中央の寸法差を上記の最適化方法により最適化した。なお、予め密集部中央の寸法を形状シミュレーションにより計算し、その計算結果を寸法基準値 $W_{i,0}$ とした。密集部端の各ホールパターンに対して寸法計算値 $W_{i,n}$ を求め、密集部端の各ホールのマスクパターンの寸法 $M_{i,n}$ を最適化した。最適化されたマスクパターンに基づき露光マスクを作製し、露光、現像した。現像されたレジストパターンにおけるホール径の分布を図11(b)に示す。最適化前の露光マスクでは、図11(a)に示すように、密集部端でホール径が大きくなっていたが、上記方法によりマスクパターンを最適化することで、均一なホール径の分布を得ることができた。

【0136】

なおここでは、 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が寸法余裕度 δ^2 以下になるように最適化した。この方法に限定されるものではない。例えば、図5又は図14に示したように、 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ が δ^2 より小さい場合には $(\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2)^{1/2}$ を δ に置き換え、用意された総てのマスクパターンの寸法 $M_{i,n}$ について繰り返し計算する方法であっても構わない。基本的には、 $\sum |W_{i,n} - W_{i,0}|^2$ を寸法余裕度以下にすること、最小にすることが目的であり、これを達成できる方法であれば、適用可能である。

【0137】

第1の実施の形態では、図7及び図8に示したようにレジスト未露光部26に

囲まれた密集ホールパターン部 25 に関して、中央部と密集部端 (P a 点、P b 点) の寸法予測について述べた。この寸法差を小さくするため、図 17 に示すマスクパターン形成方法を用いて、マスクのパターン寸法を変えて仕上がり寸法を調整することができる。

【0138】

(その他の実施の形態)

本発明の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法によれば、現像工程において発生するパターン寸法のばらつきを予測することができる。本発明の第 1 及び第 2 の実施の形態によって所望箇所のパターン寸法を予測できるため、ウェハ面内、チップ内の寸法ばらつき予測をおこなうことができる。これにより予測されたばらつき量が許容できるものかできないものの判断を下すことができる。

【0139】

また、本発明の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法は、デバイス試作に先立ってリソ条件を決定するために行われるリソグラフィ設計段階において、利用することができる。この場合、図 5 の S 104 段階において設定する変数は、マスクパターンの寸法だけでなく、露光条件 (NA、 σ 、照明条件) も含まれる。特に、クリティカルな条件で行う形状シミュレーションに対して、予測精度が向上し、有効である。

【0140】

また、レジスト材料の選択にも有効である。本発明の第 1 及び第 2 の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法によれば、デバイスの種類や積層膜の種類によって、複数のレジスト候補のなかから、最適なものを選択することができる。各レジストについて測定されている変化率 g のテーブルを用意することにより、レジスト最適化が可能である。実験による評価は多くの労力と時間を要するが、シミュレーションによって評価に値しそうなレジストを選び出せるので、短時間化、省力化が可能である。

【0141】

なお、光学像強度の言葉の意味は狭義の意味と広義の意味が存在する。狭義に

はマスク透過光がウェハ面上に結像した光学像を示す。広義にはこの意味に加えて、感光性膜に与えられた強度を膜厚方向について考慮した、いわゆる潜像も含む。第1及び第3の実施の形態では狭義の光学像 $I(x, y)$ で説明したが、代わりに潜像を用いても良い。また、請求項における光学像の意味は広義の光学像であり、潜像も含む。

【0142】

以上、複数の実施の形態を用いて本発明を説明したが、本発明の実施の形態はこれに限定されるものではない。本発明の主旨を逸脱しない範囲で変更可能である。

【0143】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、実際の現像挙動を反映した形状予測及び寸法予測を精度よく行うことができる形状シミュレーション方法、形状シミュレーションプログラム及びマスクパターン作成方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

アルカリ濃度に対する溶解速度を実験的に求めた結果を示すグラフである。

【図2】

レジストの膜厚方向の位置と溶解速度の変化率との関係を示すグラフである。

【図3】

図3(a)はレジストの上部における溶解速度の変化率の露光量依存性を示すグラフであり、図3(b)はレジストの中部における溶解速度の変化率の露光量依存性を示すグラフである。

【図4】

本発明の第1の実施の形態に関わる形状シミュレーション装置を示すブロック図である。

【図5】

本発明の第1の実施の形態における現像パラメータを最適化する方法を示すフローチャートである。

【図 6】

本発明の第 1 の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図 7】

第 1 の実施の形態の実験例に関わるレイアウトパターンを示す平面図である。

【図 8】

図 8 は、図 7 の I - I' 切断面に沿ったホール径の場所依存性を示すグラフであり、図 8 (a) は、寸法実測値を示し、図 8 (b) は寸法予測値を示す。

【図 9】

レジスト上に塗布された現像液の流れを示す断面図である。

【図 10】

第 2 の実施の形態に関わるレイアウトパターンを示す平面図である。

【図 11】

図 11 は、図 10 の I - I' 切断面に沿ったホールパターンのホール径の場所依存性を示すグラフであり、図 11 (a) は、補正前の露光マスクによるものを示し、図 11 (b) は、補正後の露光マスクによるものを示す。

【図 12】

本発明の第 1 の実施の形態に関わる形状シミュレーション装置を示すブロック図である。

【図 13】

本発明の第 1 の実施の形態における現像パラメータ及び感光反応パラメータを最適化する方法を示すフローチャートである (その 1)。

【図 14】

本発明の第 1 の実施の形態における現像パラメータ及び感光反応パラメータを最適化する方法を示すフローチャートである (その 2)。

【図 15】

本発明の第 1 の実施の形態に関わる形状シミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図 16】

本発明の第 3 の実施の形態に関わるマスクパターン作成装置を示すブロック図である。

【図 1 7】

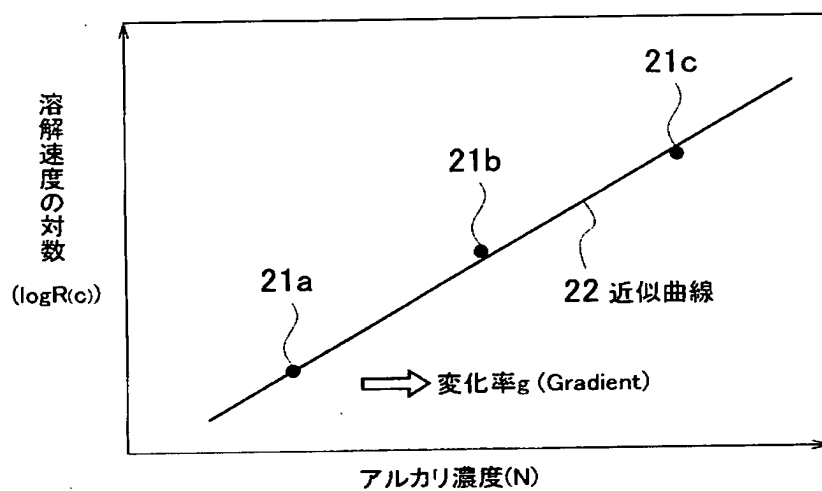
本発明の第 3 の実施の形態に関わるマスクパターン作成方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

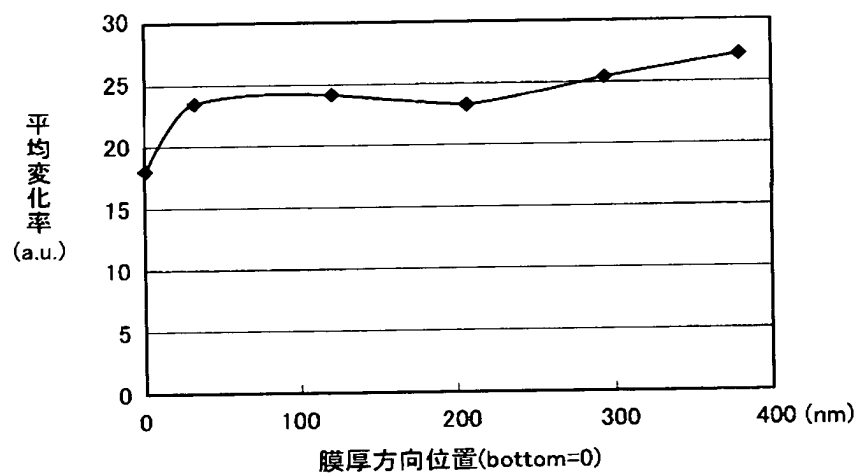
- 1 演算部
- 2 データ記憶部
- 3 プログラム記憶部
- 4 入出力制御部
- 5 出力装置
- 6 入力装置
- 7 光学像強度計算部
- 8 空間平均量計算部
- 9 溶解速度変化率読込部
- 1 0 溶解速度計算部
- 1 1 パターン形状計算部
- 1 2 現像パラメータ
- 2 1 a ~ 2 1 c 測定点
- 2 2 近似曲線
- 2 3 現像液
- 2 4 レジスト
- 2 5 ホールパターン部
- 2 6 レジスト未露光部
- 3 1 感光反応生成物濃度計算部
- 3 2 感光反応パラメータ
- 4 1 パターン読込部

【書類名】 図面

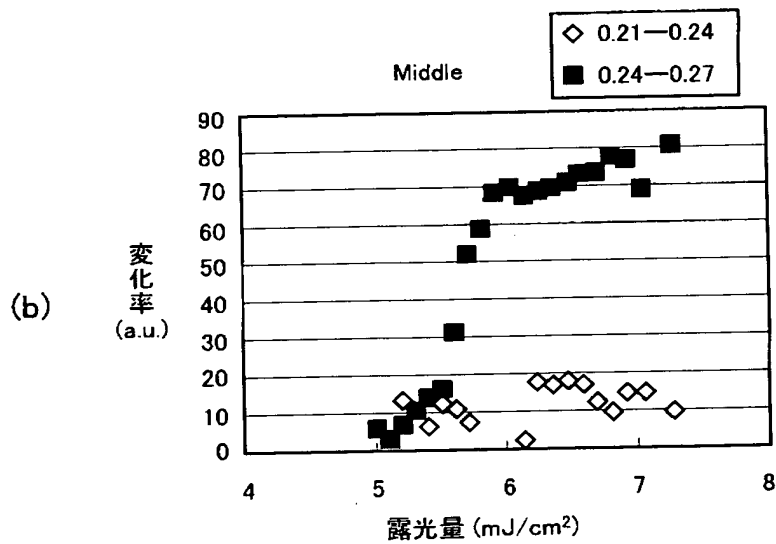
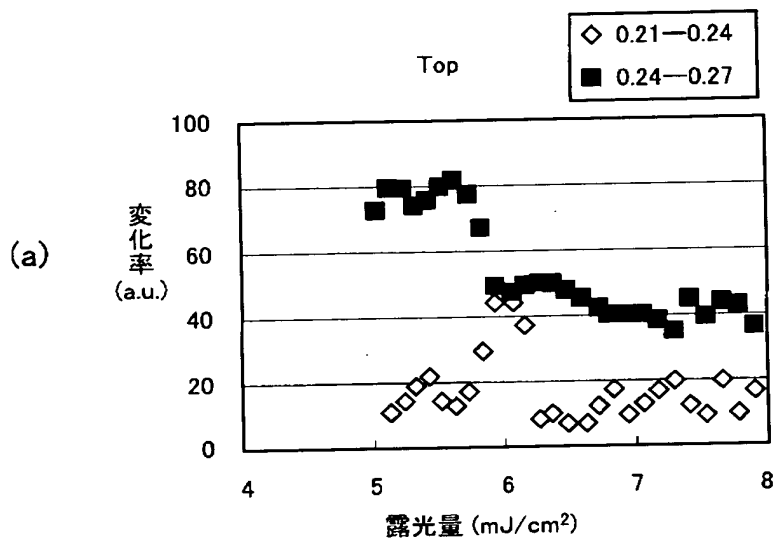
【図 1】



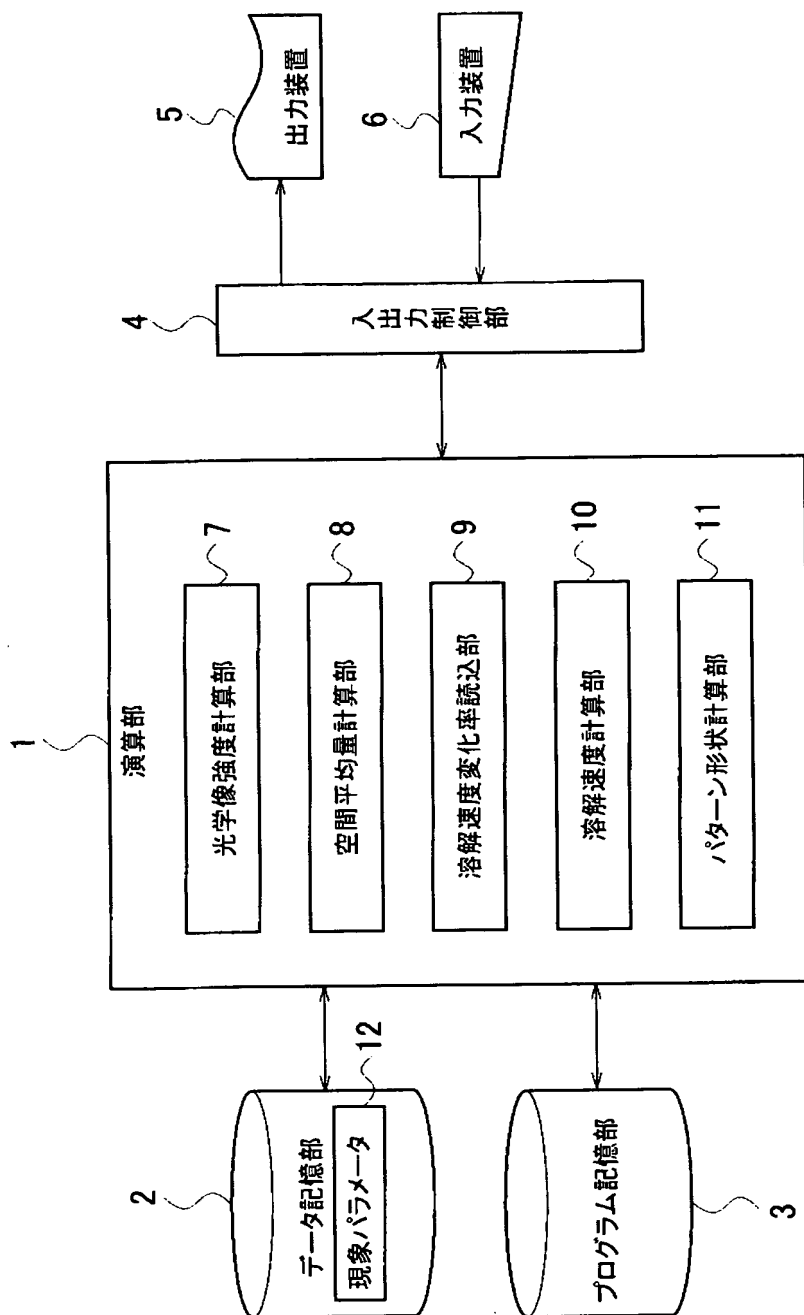
【図 2】



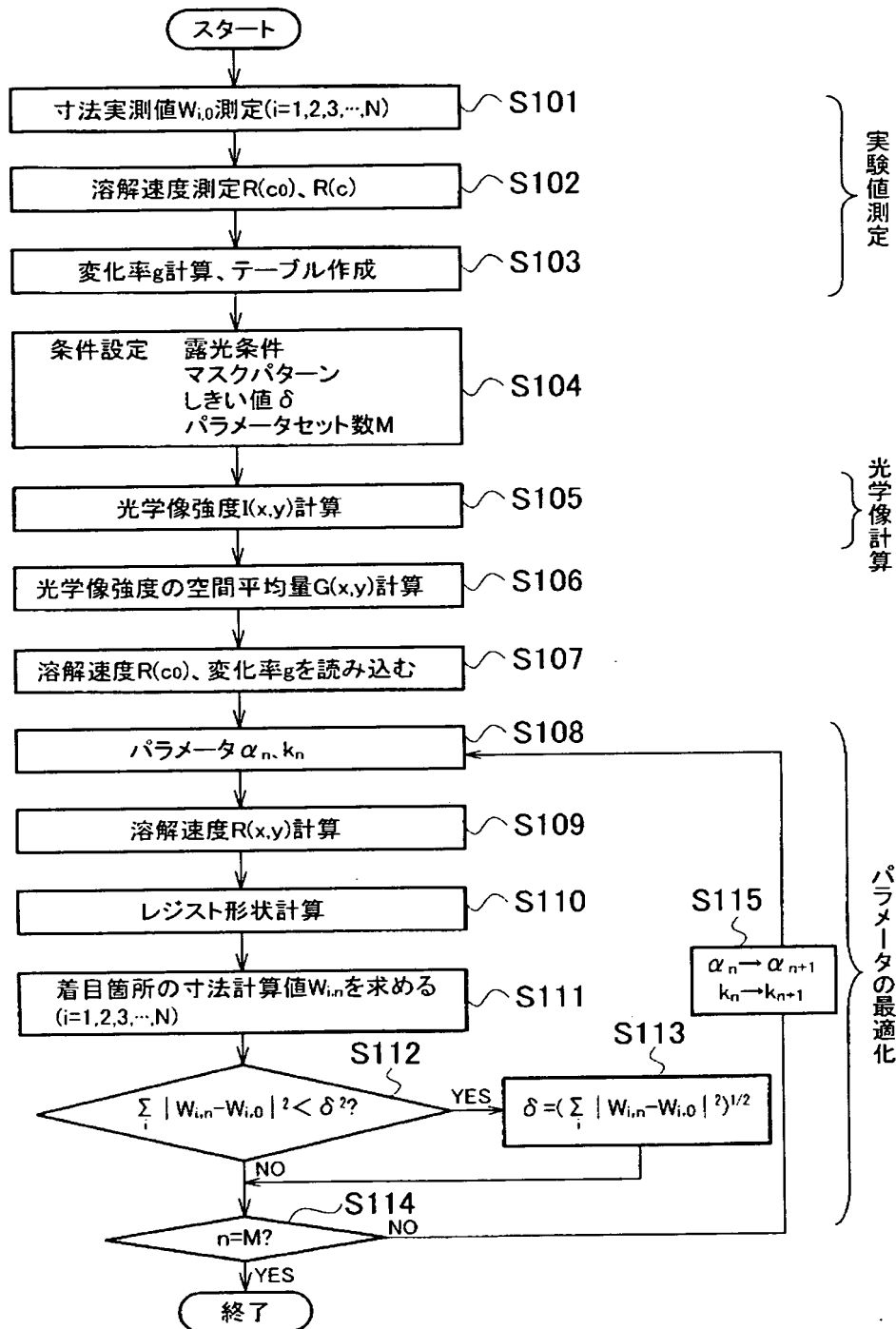
【図 3】



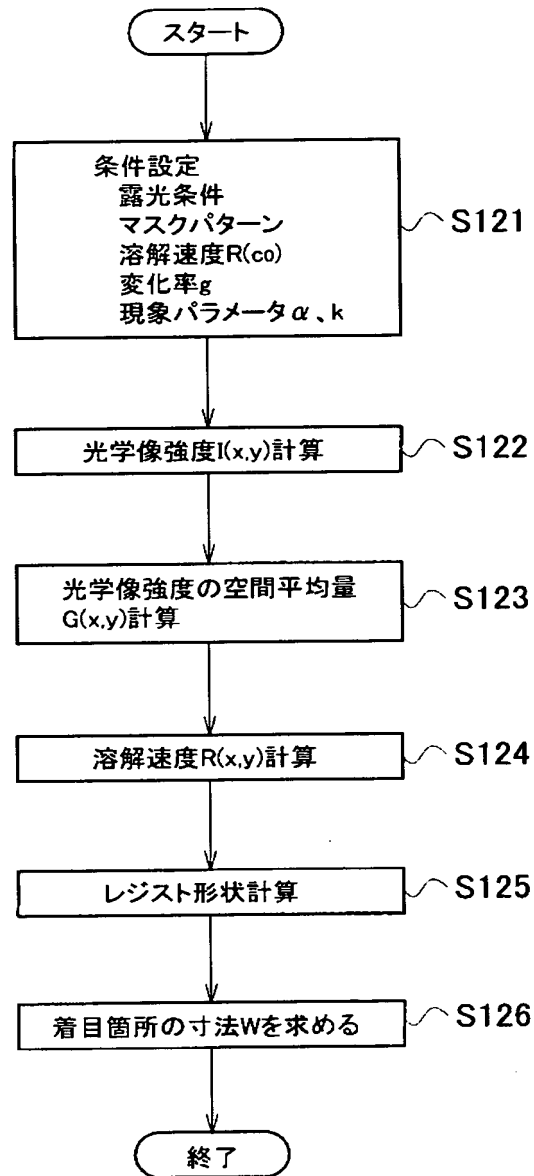
【図 4】



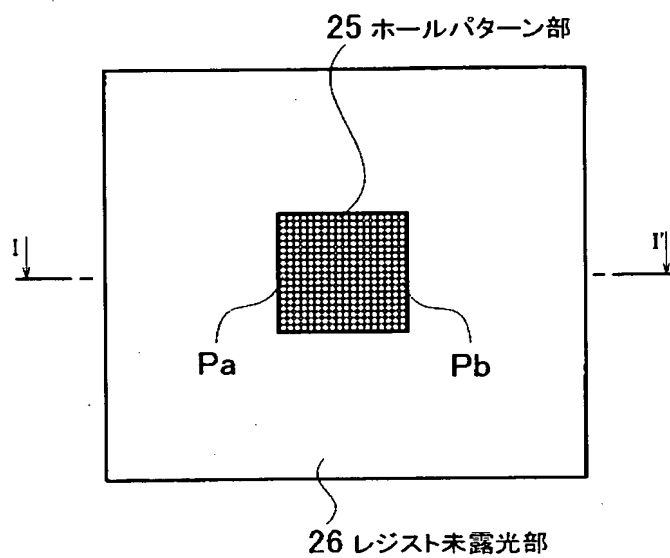
【図 5】



【図 6】

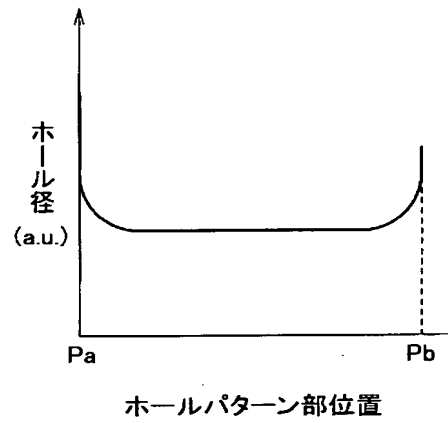


【図 7】

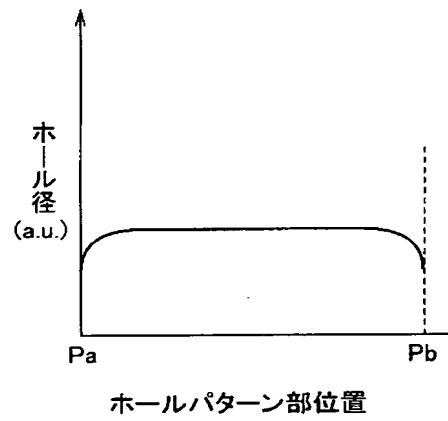


【図 8】

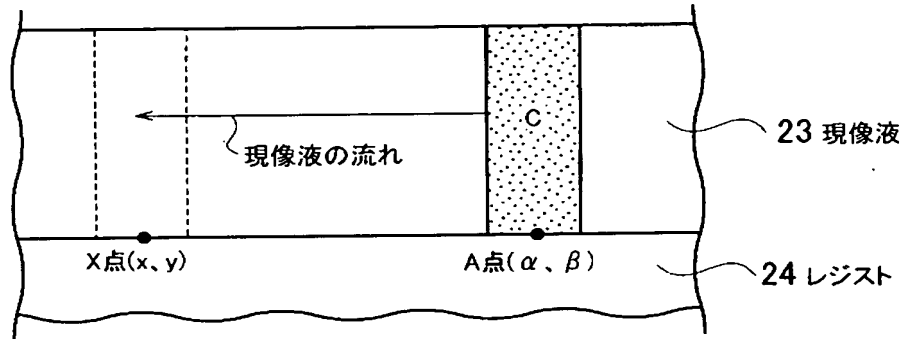
(a)



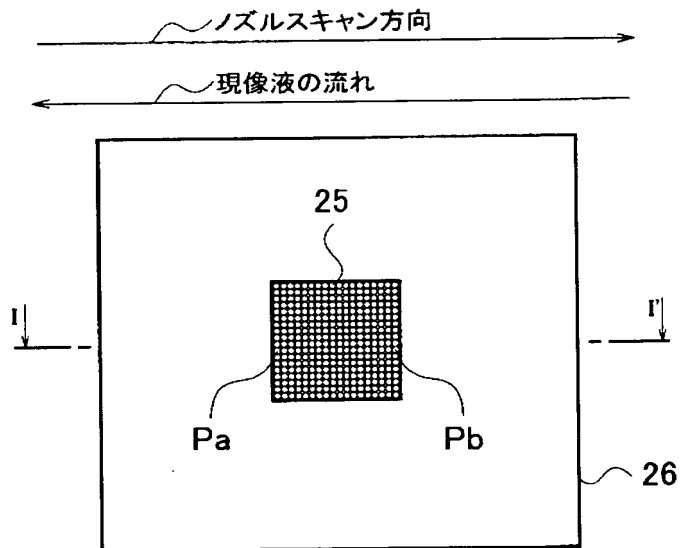
(b)



【図 9】

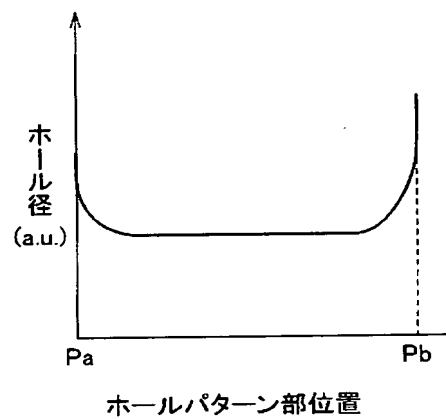


【図 10】

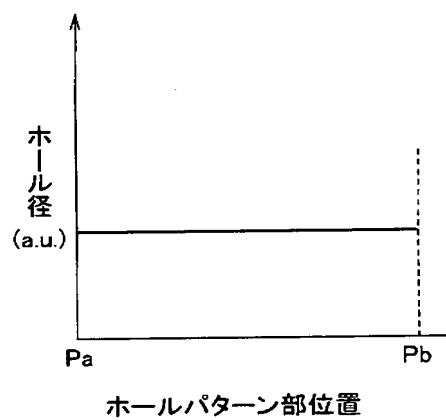


【図 11】

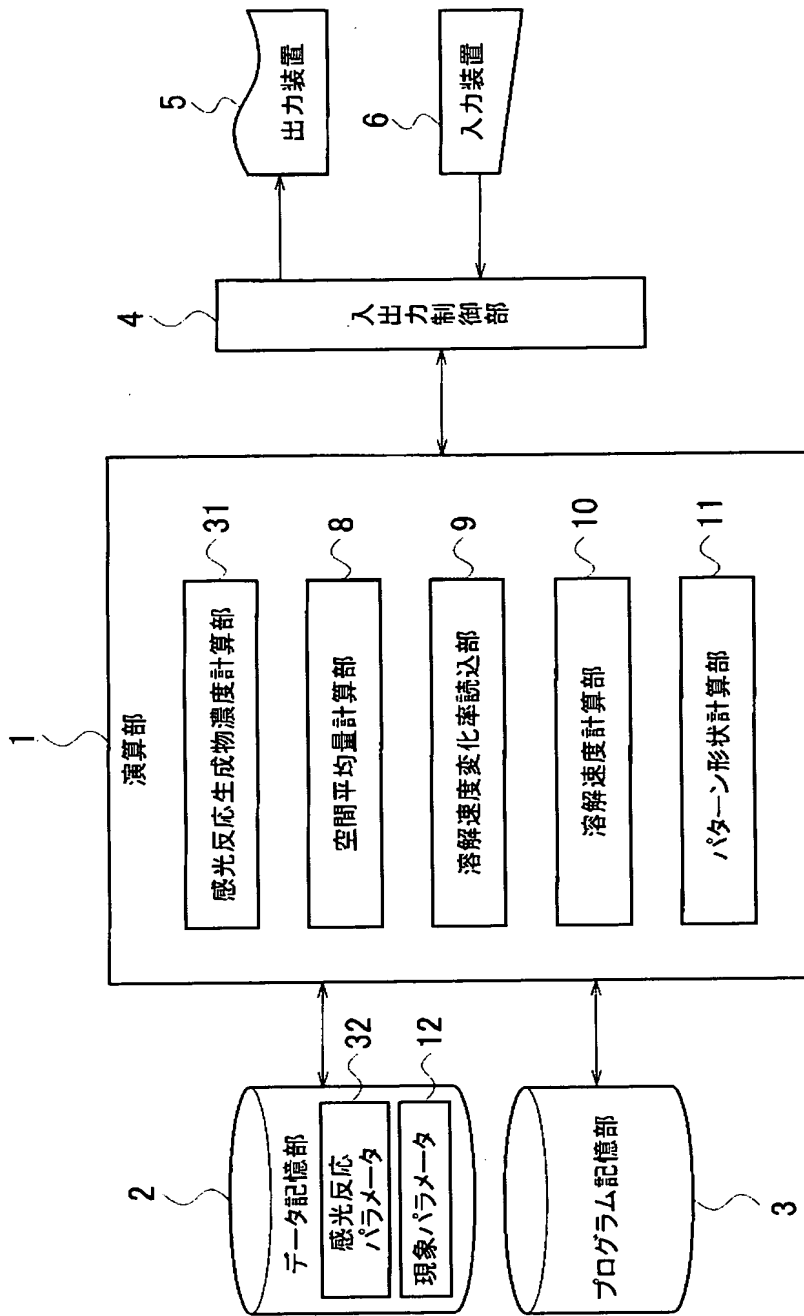
(a)



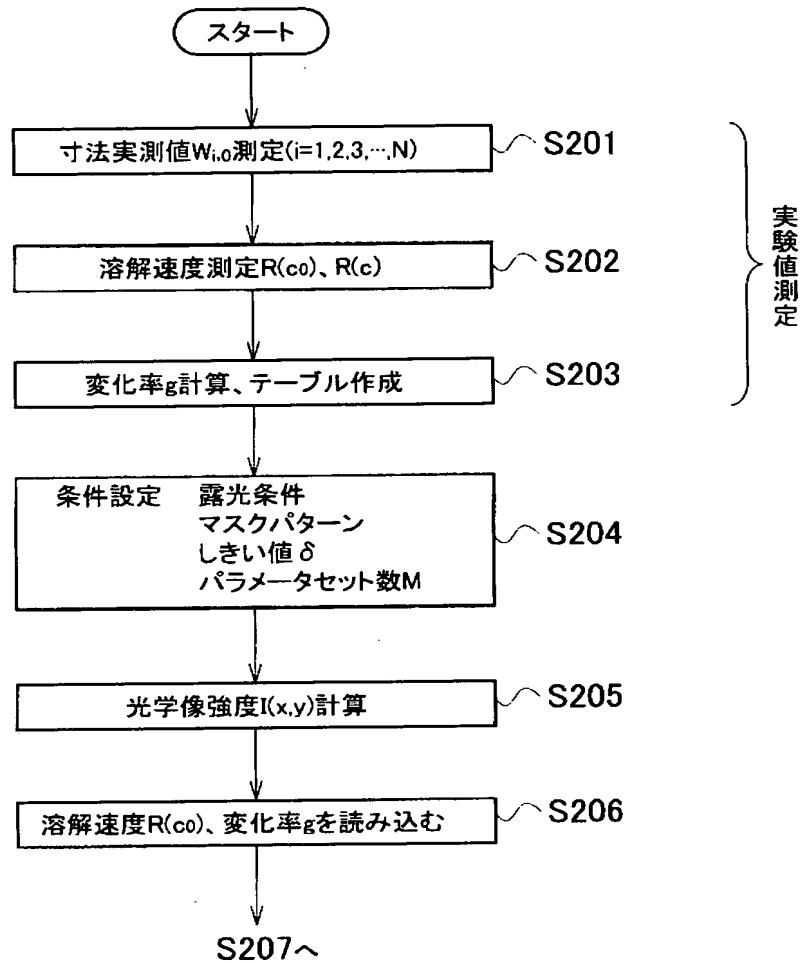
(b)



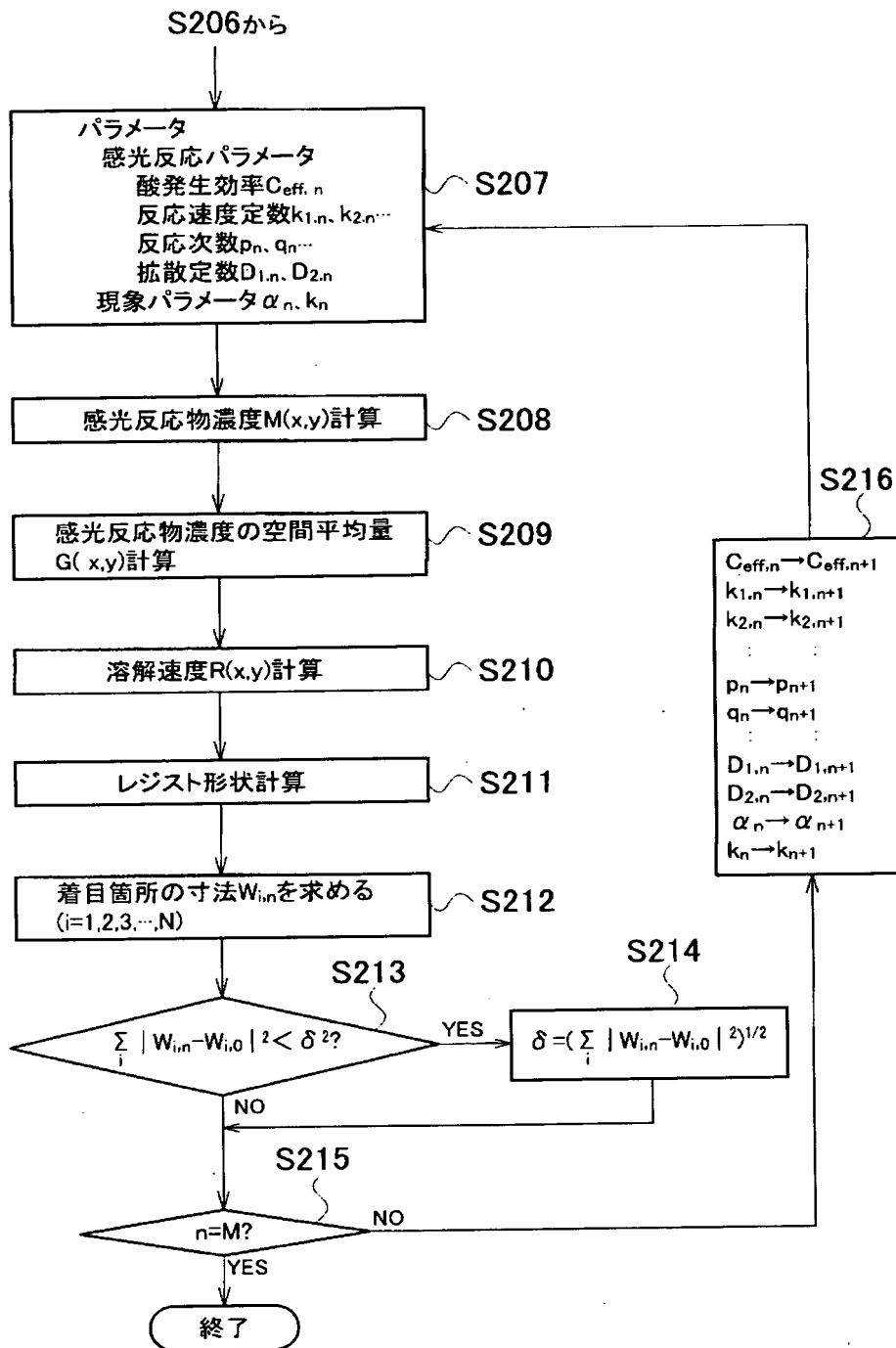
【図 12】



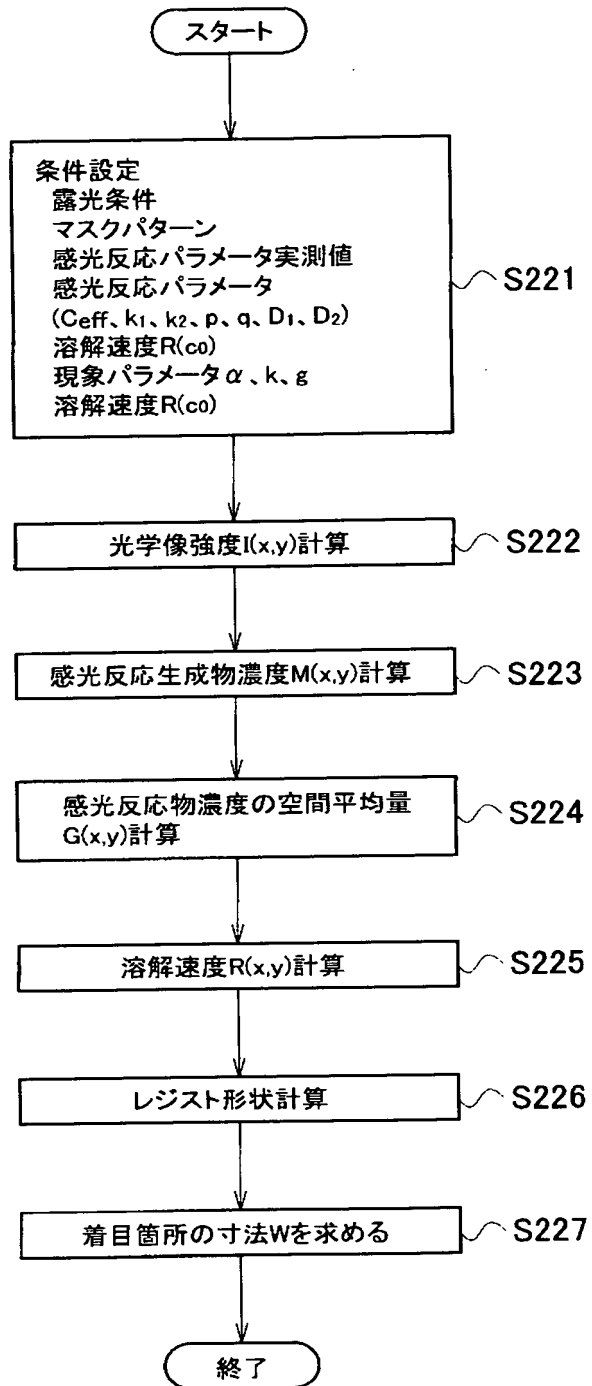
【図 13】



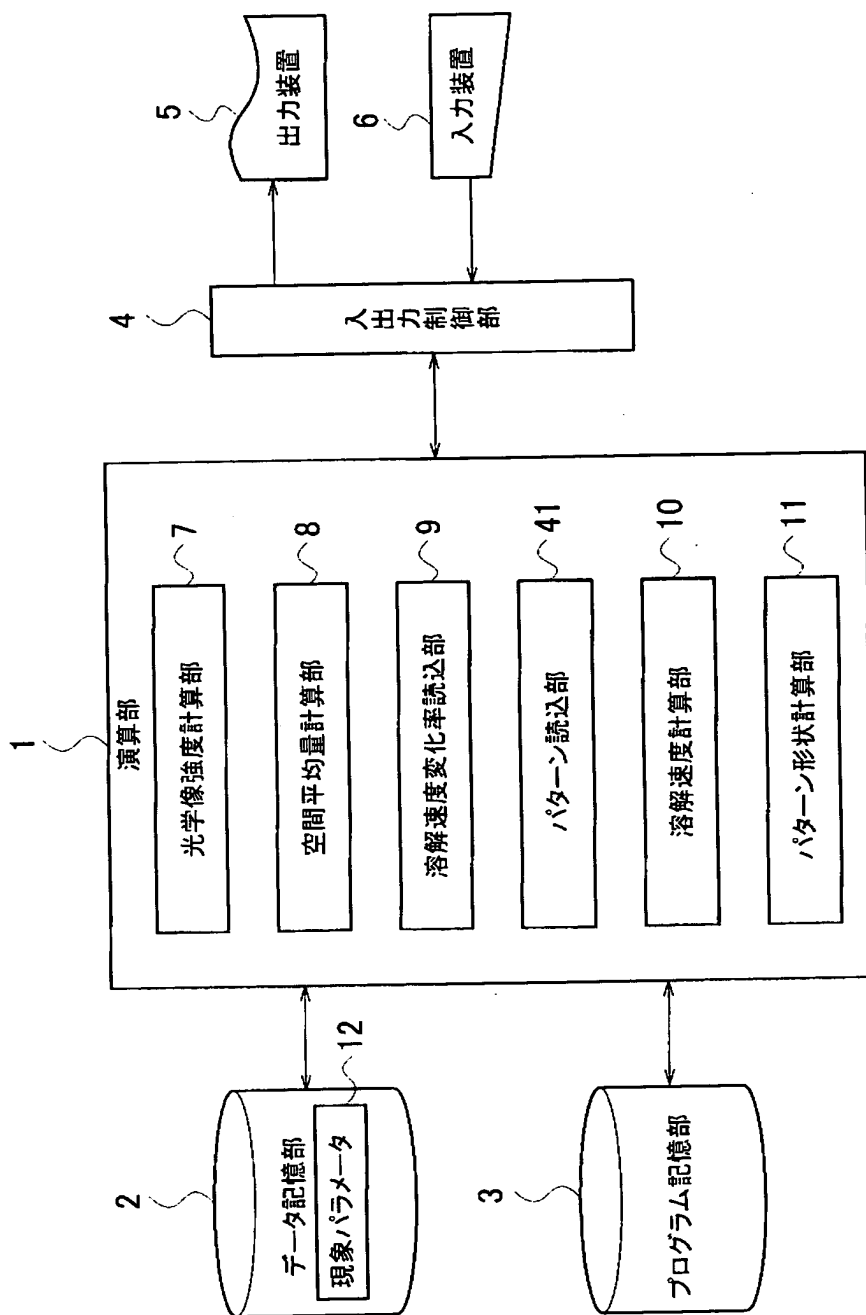
【図 14】



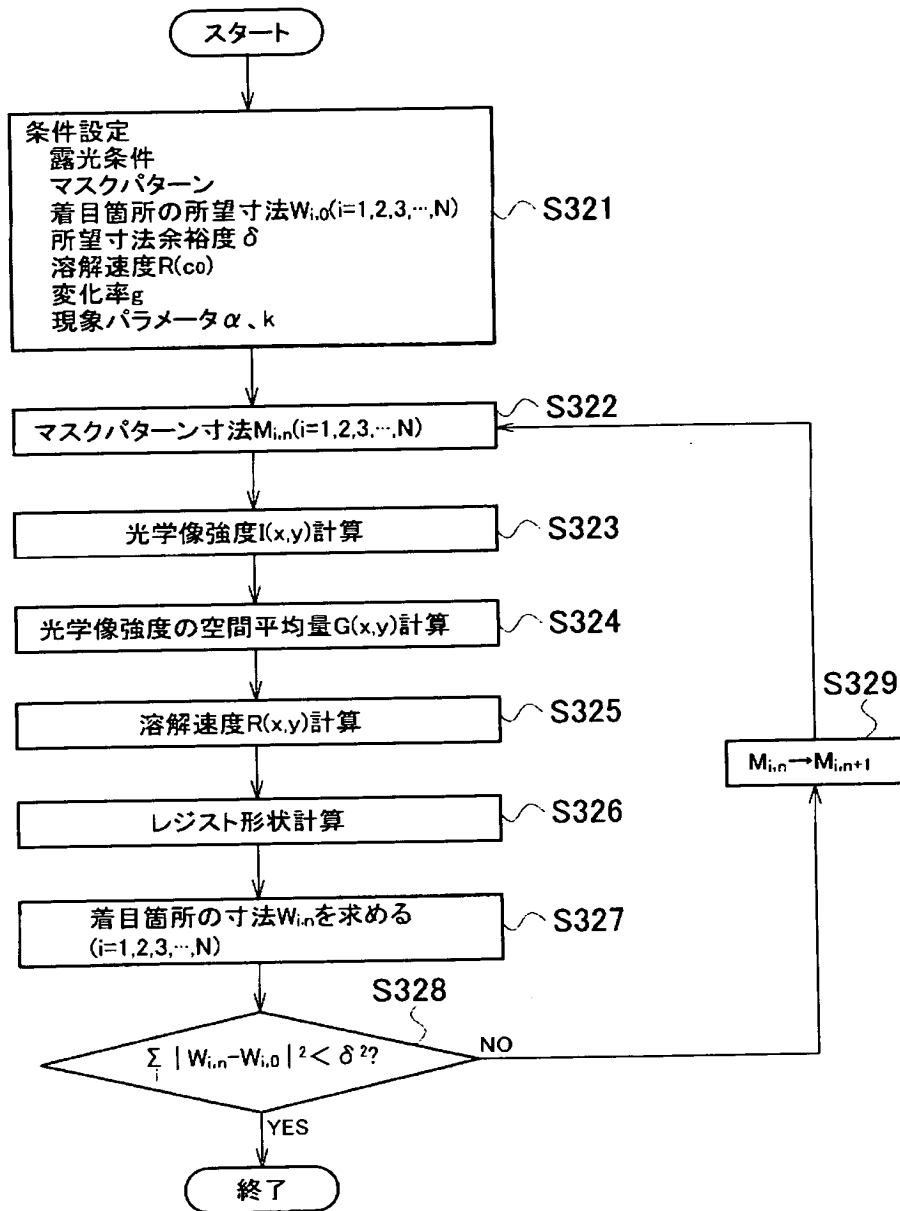
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実際の現像挙動を反映した形状予測及び寸法予測を精度よく行うことができる形状シミュレーション方法を提供する。

【解決手段】 感光性膜の光学的強度を計算する段階と、光学的強度の空間平均量を計算する段階と、アルカリ濃度に対する感光性膜の溶解速度の変化率を用意する段階と、空間平均量及び変化率を用いて溶解速度を計算する段階と、溶解速度から感光性膜のパターンの形状を計算する段階とを具備する。

【選択図】 図6

特願 2 0 0 3 - 0 1 2 5 2 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 3 0 7 8]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 7 月 2 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号

氏 名

株式会社東芝